

300627
21
24



UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE QUIMICA

INCORPORADA A LA U. N. A. M.

LAS RADIACIONES IONIZANTES

EN LA

PRESERVACION DE LOS ALIMENTOS

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el titulo de:

QUIMICO FARMACEUTICO BIOLOGO

P r e s e n t a:

María Gabriela Esther Navarrete Madero

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

México, D. F.

1989.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

| | Página |
|--|--------|
| CAPITULO I | |
| MÉTODOS DE CONSERVACION DE ALIMENTOS | 1 |
| - Métodos tradicionales | 1 |
| - Métodos modernos | 15 |
| - Métodos por irradiación. Combinación de Métodos | 36 |
| - Análisis comparativo de la irradiación VS otros métodos | 43 |
| CAPITULO II | |
| EFFECTOS DE LA IRRADIACION EN LOS ALIMENTOS | 51 |
| - Mecanismos de la radioconservación | 51 |
| - Efecto en las proteínas | 53 |
| - Efecto en los azúcares | 54 |
| - Efecto en los lípidos | 55 |
| - Efecto en las vitaminas, minerales y enzimas biológicas | 56 |
| - Cambios físicos y organolépticos | 59 |
| - Cambios microbiológicos | 60 |
| CAPITULO III | |
| PRUEBAS DE COMESTIBILIDAD DE ALIMENTOS IRRADIADOS | 65 |
| - Toxicidad | |
| - Fertilidad | |
| - Crecimiento y ganancia de peso y aceptabilidad | |
| - Necropsia e histopatología | |
| - Hematología y salud general | |
| CAPITULO IV | |
| APLICACIONES DE LA RADIACION IONIZANTE EN LA PRE-SERVACION DE LOS ALIMENTOS | 83 |
| - Inhibición de brotes y raíces en tubérculos | 84 |
| - Desinfestación y destrucción de parásitos | 89 |
| - Aumento del período de anaquel de frutas y vegetales | 92 |
| - Esterilización de alimentos envasados | 98 |
| - Descontaminación de alimentos para animales | 101 |
| - Mejoramiento de semillas y plantas | 101 |
| - Otras aplicaciones | 103 |
| CAPITULO V | |
| ESTADO ACTUAL Y FUTURO DE LA IRRADIACION DE ALIMENTOS | |
| - Estado actual | |
| - Futuro | |

INDICE

| | Página |
|---|--------|
| CONCLUSIONES | 126 |
| ANEXO 1: PRINCIPIOS BASICOS SOBRE RADIATIVIDAD | 131 |
| BIBLIOGRAFIA | 154 |

INTRODUCCION

Los alimentos sin preservar, se descomponen y pierden sus cualidades nutricionales, volviéndose tóxicos y no comestibles, debido a causas químicas, físicas y biológicas, y por la actividad de microorganismos e insectos. El deterioro de un alimento en especial depende de su composición, de la forma de almacenarse y del tipo de microorganismos que lo atacan, por nombrar lo más importante. (18).

Si se considera la diversidad de sustancias que se emplean como alimento y de los procedimientos con que se manipulan cada una de ellas en los procesos de preparación, es indudable que prácticamente todas las clases de microorganismos son posibles agentes contaminantes. El tipo de producto y el método de elaboración y preservación del mismo favorecen en cada caso la contaminación por determinados tipos de microorganismos.

Las principales sustancias alimenticias son excelentes medios para el cultivo de organismos muy diferentes. (60).

El resultado es que todos los tejidos vivos en último caso, se transforman en los minerales, agua, bióxido de carbono y amoníaco, de los cuales están formadas sus moléculas orgánicas complejas. (23).

Los alimentos deben preservarse y almacenarse en tiempos de abundancia para utilizarse en épocas de escasez, y para hacer posible su transportación desde áreas de exceso hacia áreas de insuficiencia, o donde se ofrezca un mercado de consumo.

La habilidad para preservar los alimentos va de la mano con la evolución del hombre y la civilización. En tiempos primitivos, las principales cosechas eran trigo y cebada, que al secarse, eran fácilmente transportadas y almacenadas. Los rebaños de ovejas y otros animales se sacrificaban según las necesidades del hombre sirviendo como otro método de almacenar alimentos. (23)

Los hombres primitivos obtenían alimento por medio de la caza. A medida que ha evolucionado la Humanidad, ha dirigido sus aptitudes hacia la obtención de un suministro constante de alimento. Rápidamente, en relación con éste desarrollo, ha crecido la población. Han existido períodos en la Historia en que el hombre ha incrementado su suministro de alimento más que su número. Estos períodos han sido cortos, al igual que los períodos de niveles elevados de vida. (36)

La conservación y almacenamiento de alimentos fué un factor importante en la civilización del hombre y los adelantos en la tecnología de la conservación de

alimentos jugaron una parte importante en la civilización del hombre y los adelantos en la tecnología de la conservación de alimentos jugaron una parte importante en la expansión de la civilización. (72)

El conocimiento de la producción de alimentos se extiende desde hace unos 8,000 años hasta el presente. Por otra parte, la química de los alimentos tiene una antigüedad ligeramente mayor a un siglo. Durante el último medio siglo han sido identificadas las principales necesidades de nutrientes del hombre, lo que comprobó que en la mayor parte de su historia, sus ideas de buen alimento no estaban necesariamente de acuerdo con sus necesidades de nutrientes, desde un punto de vista biológico o químico.

Los tejidos animales y vegetales muertos, son consumidos en una forma u otra por fuerzas biológicas. El hombre debe entrar en competencia con otras formas de vida para sobrevivir y vivir saludablemente. (27)

La mayoría de la gente vive en naciones con bajos niveles de industrialización y los alimentos preservados son componentes significativos en las dietas de las poblaciones altamente industrializadas.

La gente que vive en áreas de producción de alimentos se está movilizandó hacia las regiones donde existen las oportunidades industriales y las posibilidades de

mejor vida. Esto significa que los métodos mejorados de producción, almacenamiento y distribución de alimentos se requieren no solamente para alimentar a las poblaciones ya establecidas en las ciudades, sino también a aquellos que abandonan las ocupaciones agrícolas, que anteriormente producían cuando menos sus propios alimentos. (48).

También es un hecho que ahora hay más población en el mundo con niveles adecuados de vida, que la que ha habido en la historia de la humanidad, y esa gente está demandando alimentos de mejor calidad, resultado de la integración exitosa de los más avanzados métodos de la tecnología de producción de alimentos con los métodos más funcionales de las tecnologías actuales de almacenamiento y distribución de alimentos. (57)

Los alimentos de alta calidad que el hombre, mas demanda, son también los más altamente perecederos. Afortunadamente, los alimentos más perecederos, se pueden hacer estables y aceptables mediante la aplicación juiciosa de la tecnología actual. Con la aplicación exitosa de las tecnologías comerciales para la conservación de alimentos, la disponibilidad de alimentos perecederos puede ser aumentada contribuyendo así en una forma útil, al bienestar humano..

La conservación comercial de alimentos, mejora los.

suministros de éstos también en otra forma. Alienta y/o inicia las prácticas intensivas en la producción de alimentos, y al mismo tiempo reduce las pérdidas debidas a la descomposición y degeneración en los alimentos cosechados. (58)

En la presente tesis se realiza un análisis bibliográfico de la preservación de alimentos con radiaciones ionizantes, las ventajas y desventajas que presenta comparada con otros métodos de conservación, los cambios que induce en los nutrientes (si los hay), y algunos de los estudios realizados en diferentes tipos de alimentos para verificar su comestibilidad e inocuidad. (57)

CAPITULO I

METODOS DE CONSERVACION DE ALIMENTOS

CAPITULO I

METODOS DE CONSERVACION DE ALIMENTOS

Métodos Tradicionales.

1. Secado:

Los primeros antecedentes de este método de conservación son los agricultores prehistóricos, que en periodos lluviosos o nublados, transportaban algunas de sus cosechas al interior de cuevas donde las dejaban secar para evitar que se pudrieran.

El uso del calor de un fuego para secar alimentos fue descubierto independientemente por muchos hombres en el Nuevo y Viejo Mundo. El enlatado y la deshidratación como métodos de conservación de alimentos aparecieron, aproximadamente, al mismo tiempo hace casi siglo y medio.(48)

El agua es el material siempre presente en los alimentos, y en la mayoría de ellos, es el constituyente de mas alta concentración.

La presencia de agua en los alimentos y su concentración determina en alto grado sus propiedades organolépticas y su digestibilidad, así como la estructura física de estos materiales. (26)

Todos los procesos deteriorativos que tienen lugar en los alimentos están influenciados por la concentración y movilidad del agua en estos. Independientemente de la composición de los materiales alimentici-

cios, a altas concentraciones de agua, el deterioro es causado por crecimiento y desarrollo de bacterias y mohos y por reacciones enzimáticas o no enzimáticas. A bajas concentraciones de agua, la descomposición de los alimentos es causada principalmente por reacciones autoxidativas y por deterioro físico. (26)

Los alimentos son más estables a bajas que a altas concentraciones de agua. El potencial del agua para tomar parte en los procesos deteriorativos se caracteriza por la actividad de agua (a_w) en el producto, que de acuerdo con la ley general de Raoult es la relación entre la presión de vapor del producto a la temperatura T_p y la presión de saturación del agua a la misma temperatura: $A_w = (P_{\text{producto}}/P_o)$. (34)

La actividad de agua de cualquier producto depende de la composición química de ese, el estado de agregación de sus constituyentes, el contenido de agua y la temperatura del producto.

Se considera que existen 4 diferentes tipos de agua: El agua del tipo IV es el agua en estado puro.

En un proceso de deshidratación, la primera agua en ser removida, es el agua del tipo III. Este tipo de agua tiene una actividad un poco menor al agua pura. Representa a la mayoría del agua contenida en los tejidos de plantas y animales, y está fácilmente disponible

para el crecimiento de microorganismos y para reacciones químicas. Al irse eliminando, el agua restante asume menor actividad gradualmente. Cuando toda el agua del tipo III ha sido removida, el contenido total de agua en el material es del 12 al 2%. (34)

El agua del tipo II es sustancialmente más difícil de eliminar que la anterior, y su eliminación resulta en un mucho mayor decremento de la actividad de agua restante, de lo que sucedería con la eliminación de iguales cantidades de agua del tipo III. La eliminación parcial del agua del tipo II elimina la última posibilidad de crecimiento microbiano y reduce drásticamente la mayoría de las reacciones químicas. La completa o casi completa eliminación del agua del tipo II corresponde a la óptima estabilidad de los productos deshidratados que contienen cantidades significativas de lípidos oxidables.

La parcial eliminación del agua del tipo I puede llevarse a cabo con los procedimientos convencionales de deshidratación. Según algunos autores, éste tipo de agua está fuertemente ligada y se refieren a ella como la "verdadera" agua ligada.

De este modo, al reducirse el contenido de agua libre, se controla el crecimiento microbiano. (34)

Los alimentos pueden secarse en aire, vapor sobrecalentado, en vacío, en gas inerte y por la aplicación directa de calor. Generalmente se utiliza el aire como medio secador, para conducir el calor al alimento. (31)

Los secadores pueden ser divididos en dos clases:

- Secadores adiabáticos: El calor es llevado dentro del secador por un gas caliente. El gas dona el calor al agua en el alimento y lleva hacia afuera el vapor de agua producido.

- Secadores de transferencia de calor a través de una superficie sólida: El calor es transferido al alimento a través de una placa metálica, la cual lleva también el producto.

Dentro de los secadores adiabáticos pueden citarse los siguientes:

- Secadores de tunel: Son de uso común para la deshidratación de frutas y hortalizas.

- Hornos secadores: Son usados en el secado de productos como rebanadas de manzanas, lúpulo y ocasionalmente papas.

- Secadores de esprea: Se usan para secar soluciones, pasta y suspensiones.

- Secadores de concurrencia horizontal: Se utilizan para productos en polvo.

- Secadores de concurrencia de flujo vertical hacia abajo:
Tiene la misma aplicación que el anterior.

- Secadores de concurrencia de flujo vertical hacia arriba:
Se manejan materiales muy finos y se trata de una unidad pequeña.

- Secadores de flujo vertical hacia arriba a contracorriente:
No es usado comúnmente para alimentos, pues los sobrecalienta.

- Secadores de flujo mixto: Se utiliza para producir alimentos pulverizados.

- Secadores de aire elevado: Se usan en la producción de alimentos tales como hojuelas de papa.

Entre los secadores de transferencia de calor se pueden mencionar los siguientes:

Secadores de tambor: Se aplican a la producción de alimentos pulverizados.

Cámara de secado al vacío: Son unidades caras y han sido utilizadas para productos tales como polvos cítricos, polvo de tomate y otros productos.

Secadores al vacío continuos: También se utilizan para producir alimentos pulverizados. (19)

Un alimento deshidratado debe competir en precio con otros tipos de alimentos conservados. Tener un sabor, olor y apariencia comparable con el producto fresco o con productos procesados por otros medios, reconstituirse fácilmente, retener los valores nutritivos y tener una buena estabilidad en el almacenamiento. (39)

El valor biológico de las proteínas secadas depende del método empleado. Las exposiciones prolongadas a altas temperaturas pueden hacer las proteínas menos útiles en la dieta. Los tratamientos a bajas temperaturas pueden aumentar la digestibilidad de las proteínas sobre el material nativo.

La rancidez representa un problema en los alimentos secados. La oxidación de las grasas es mayor a altas que a bajas temperaturas de deshidratación. Se pueden proteger las grasas si se añade un antioxidante. (19)

Las frutas sufren su principal deterioración en los carbohidratos.

También es posible la decoloración debida al empardecimiento enzimático o a reacciones de caramelización de los azúcares. Los tejidos animales contienen menores cantidades de carbohidratos, por lo que sus deterioros son menos importantes, excepto en la leche y el huevo.

Los productos alimenticios en un tiempo o en otro están en contacto con el suelo y con el polvo, por lo que los microorganismos estarán activos siempre que las condiciones del medio lo permitan. La cantidad de humedad en el alimento establece cuales microorganismos podrán crecer, los mohos crecen en sustratos alimenticios con humedad al 12% y algunos con menos de 5% de humedad. Las bacterias y las levaduras requieren humedad sobre el 30%. Se emplea comúnmente cloruro de sodio junto con la deshidratación porque controla el crecimiento de los microorganismos. (39)

El estado de los alimentos cambia sus propiedades físicas y químicas y puede esperarse que altere sus habilidades para reflejar, dispersar, absorber y transmitir la luz, y por tanto, modifica su color. Los carotenoides se alteran en la deshidratación. Las antocianinas son dañadas con el tratamiento de secado. Los pigmentos naturales verdes de las plantas superiores son una mezcla de clorofila a y clorofila b. La retención del color verde de la clorofila se relaciona directamente con la retención de magnesio en las moléculas del pigmento. En condiciones de calor y humedad, la clorofila es convertida en feofitina por pérdida de parte de su magnesio. Un medio circundante ligeramente alcalino controla positivamente la transferencia de magne-

sio. (19)

2. Fermentación.

Fermentación es el nombre aplicado a una cierta clase de reacciones químicas, llevadas a cabo en sustratos orgánicos gracias a la actividad de microorganismos.

Las sustancias afectadas en los sustratos orgánicos por las enzimas producidas por los microorganismos, pueden ser carbohidratos, proteínas o grasas u otro tipo de material orgánico. (65)

Si bien casi todos los procesos de preservación de alimentos se basan en la destrucción de los microorganismos, o en la inhibición de su desarrollo, ciertos alimentos provienen precisamente de la acción de microorganismos.

Los microorganismos utilizados en las fermentaciones son notables por su habilidad para producir endoenzimas y exoenzimas. Los mohos, levaduras y las bacterias pueden secretar una amplia variedad de enzimas, ya que todas las funciones de crecimiento, reproducción, digestión, etc., distribuidas entre numerosos tejidos y órganos en plantas superiores y animales, están concentradas en una célula individual

De esta manera, el tipo específico de fermentación producida por un organismo en particular, depende de las enzimas que produzca. (65)

Para que los microorganismos sean útiles para la fermentación deben llenar tres características importantes:

a) El microorganismo debe ser capaz de crecer rápidamente en un sustrato y medio adecuados y ser fácilmente cultivado en grandes cantidades.

b) Debe mantener constancia fisiológica en las condiciones anteriores y dar las enzimas esenciales, fácil y abundantemente con objeto de que puedan ocurrir los cambios químicos en el sustrato.

c) Las condiciones del medio circundante requerida para el crecimiento máximo y reproducción deben ser comparativamente simples.(77)

El proceso de fermentación que puede ser de importancia industrial, no es simplemente inocular materia orgánica con microorganismos que puedan producir un cierto tipo de alimento, sino que se trata de un sistema de reacciones bioquímicas entre un sustrato y un organismo capaz de descomponerlo parcialmente de cierta manera bajo condiciones de trabajo controladas. El microorganismo debe ser capaz de atacar, por medio de sus enzimas, ciertos grupos en la composición química del sustrato, y, por hidrólisis, oxidación, reducción u otro tipo de reacciones, romper ciertas ligaduras y dar lugar a productos estables bajo las condiciones impuestas. (65)

Los microorganismos, cuyo primer requerimiento es energía, atacan primero los carbohidratos, después a las proteínas y por último,

las grasas. De los carbohidratos, los primeros en degradarse son los azúcares.

Los microorganismos son usados para fermentar azúcar por oxidación completa, oxidación parcial, fermentación alcohólica, fermentación láctica, fermentación butírica y otras.

Las bacterias y los mohos convierten la glucosa a bióxido de carbono y agua. Pocas levaduras pueden ejercer esta acción. La fermentación mas común es aquella en que ocurre una oxidación parcial del azúcar, en la cual, este puede ser convertido en ácido, y el ácido puede ser oxidado hasta bióxido de carbono y agua. (26)

Las levaduras son los convertidores de aldehidos a alcoholes más eficientes. La *Saccharomyces cerevisiae* es de gran importancia industrial en las fermentaciones alcohólicas.

Las fermentaciones lácticas son de gran importancia en la conservación de alimentos. El azúcar puede ser convertido a ácido láctico y otros productos finales en tales cantidades que el medio circundante es controlado sobre otros microorganismos.

Las fermentaciones butíricas son menos útiles en la conservación de los alimentos que las anteriores. Los organismos empleados son anaeróbicos e imparten sabores y olores indeseables a los alimentos.

Hay muchas acciones fermentativas posibles en los alimentos.

que actúan en detrimento de la aceptabilidad de los mismos. Generalmente, los microorganismos capaces de degradar polímeros como la celulosa, hemicelulosa, pectina y almidón, dañan la textura, el sabor y la calidad de los alimentos tratados.

La conservación de nutrientes en los alimentos fermentados es casi igual que la de otros métodos de conservación de alimentos. Los carbohidratos usualmente son convertidos a ácido o alcohol, pero éstos también son de valor nutricional. Los alimentos así tratados, contienen otros nutrientes en cantidades adecuadas, si se les compara con los sustratos perecederos originales. En algunos casos, los niveles de nutrientes se ven elevados por la presencia de levaduras. (26)

3. Concentrados de azúcar.

La combinación de grandes cantidades de azúcar con frutas tiene un efecto preservativo, pero este método de conservación se desarrolló principalmente debido al sabor de los productos y no por sus efectos de prevención contra la descomposición.

Desde el siglo XVI, éstos productos se elaboraban en Europa con miel, que era el endulzante universal. Este proceso llegó a ser muy importante en lugares donde las temporadas de fruta eran muy cortas, pues permitía el consumo de estas durante todo el año. Cuando el azúcar se hizo más fácilmente disponible, la fabricación de mermeladas en Portugal se convirtió en el método de preservación del membrillo.

El término se ha extendido para denotar cualquier fruta preservada de esta forma. Actualmente se conoce como mermelada cualquier conservado a base de frutas machacadas. (26)

Se han desarrollado muchas variantes, incluyendo las jaleas, que se fabrican de la misma manera excepto que se utiliza jugo de fruta clarificado o colado.

Se puede definir un concentrado de azúcar como un producto semisólido fabricado con la combinación de al menos 45 partes de fruta convenientemente preparada con 55 partes de azúcar. Las jaleas de modo similar, son el resultado de la combinación de 45 partes de jugo de fruta clarificado con 55 partes de azúcar. (40)

Se puede usar cualquier cantidad de dextrosa o azúcar invertido como endulzante.

Tanto las jaleas, como las mermeladas, pueden contener cantidades razonables de pectina, ácido cítrico, málico o tartárico y una sal buffer del ácido utilizado. (26)

La pectina es un polímero formado por moléculas de ácido galacturónico, y es el adhesivo o agente afirmante de muchas frutas y vegetales. La piel de las manzanas y frutas cítricas es la fuente usual de la pectina refinada pulverizada utilizada por los fabricantes de jaleas y mermeladas para formar el gel o ajustar la consistencia del produc-

to. (26)

Los ácidos cítricos, málico y tartárico, se encuentran en las frutas. Sirven para ajustar el pH o acidez del producto, la cual es importante para el sabor y es esencial para promover la formación del gel por la pectina presente.

Los compuestos buffer antes mencionados, sales de los ácidos débiles se utilizan en muchos casos para demorar el tiempo de solidificación. (26)

Como regla general, un valor de pH entre 3.0 y 3.5, es óptimo, tanto para el sabor como para la formación del gel.

El punto final de una jalea o una mermelada puede determinarse de muchas maneras. La más simple es observando la viscosidad del producto caliente por medio de una cuchara. Como existe una estrecha relación entre el contenido de sólidos solubles y el punto de ebullición, también puede utilizarse un termómetro para este fin. El método comercial comúnmente empleado es el uso del refractómetro, especialmente fabricado para este propósito y, en vez de proporcionar una lectura basada en el índice de refracción, la escala muestra directamente el porcentaje de sólidos solubles. (26)

La mayoría de las jaleas y mermeladas se fabrican actualmente en recipientes al vacío, con el fin de que las temperaturas de ebullición,

sean más bajas, y así, tener menores daños en el color y sabor de las frutas.

Cuando se alcanza el punto final deseado (65° Brix para jaleas y 68° Brix para mermeladas), debe añadirse la cantidad apropiada de ácido para favorecer la formación del gel.

Aunque el alto contenido de azúcar de estos productos tiene un efecto preservativo contra los microorganismos, subsiste el peligro de infección. El pH y la actividad de agua bajos previenen la acción bacteriana, pero el 68% de sólidos no es una garantía contra el crecimiento de algunos mohos y levaduras, los cuales pueden desarrollarse aún después de cerrado el frasco, si en la superficie del producto existe la suficiente humedad. Este es el caso del *Aspergillus glaucus*, el cual requiere un calentamiento a 74 oC durante 20 minutos para eliminarse. (26).

Los frascos cerrados y sellados deben introducirse en agua caliente o un esterilizador al vapor durante un periodo de tiempo de 10 a 20 minutos dependiendo de la temperatura de llenado. Los frascos deben enfriarse rápidamente en chorros de agua fría posteriormente.

Puede decirse que estos productos de fruta son ampliamente usados en casi todo el mundo. (26).

Métodos Modernos.

1. Refrigeración.

El metabolismo de los tejidos vivientes, es una función de la temperatura del medio ambiente. Los organismos vivos tienen una temperatura óptima de crecimiento. Las temperaturas cercanas al punto de congelación del agua son efectivas para reducir la velocidad de respiración de dichos organismos, y estas temperaturas son importantes en la conservación de los alimentos, por corto tiempo. (34)

El hielo se ha usado desde los primeros tiempos para prolongar la vida de almacenamiento de los alimentos. Si la temperatura del sustrato agua-alimento, es igual a aquella en que los microorganismos pueden multiplicarse, el alimento se deteriora rápidamente. Esto hace que la refrigeración mecánica tenga muchas características deseables.

Un refrigerador mecánico opera por medio de un refrigerante, por ejemplo, el amoníaco. El proceso de enfriamiento ocurre de la siguiente manera:

El amoníaco absorbe energía cuando se expande, este calor es tomado de la atmósfera, de la cámara o de los alrededores. El gas amoníaco expandido es entonces comprimido, por medio de la aplicación de energía al sistema, el amoníaco está ahora caliente, el calor se elimina por la circulación de agua o aire sobre los tubos que contienen el gas caliente, el gas licuado y el ciclo es entonces

repetido: el gas es llevado a evaporar bajo condiciones controladas, el gas toma calor, luego es comprimido, el calor es eliminado y el gas vuelve al estado líquido. (41)

La refrigeración puede hacerse trabajar directamente sobre el alimento o el sistema de refrigeración puede enfriar una salmuera, la cual a su vez es empleada para enfriar.

En los cuartos de almacenamiento debe controlarse la temperatura, pues las variaciones pueden ser perjudiciales, éstas pueden prevenirse si los cuartos de almacenamiento están convenientemente aislados.

Algunos alimentos tienen una velocidad de respiración mucho mayor que otros a una temperatura dada, por lo que su almacenamiento en cuartos fríos requiere más capacidad de refrigeración. Para establecer ésta capacidad, se requiere conocer la temperatura inicial del alimento, la temperatura final de almacenamiento, la velocidad de respiración y el calor desprendido, el calor específico del alimento y la cantidad de alimento a almacenar. Si se bajara la temperatura del alimento a la temperatura de almacenamiento instantáneamente, la carga de calor se obtendría de multiplicar el calor específico del alimento por el número de grados que se bajaría la temperatura por las libras del alimento, y el valor resultante sería dado en BTU (unidad térmica británica). Un BTU es igual a la cantidad de calor requerida para calentar una libra de agua un grado Farenheit. (41)

El valor en BTU obtenido del cálculo anterior es llamado "calor sensible".

Como en la práctica, el enfriamiento no es instantáneo, este cálculo debe ser incluido al igual que el tiempo de almacenamiento.

El almacenamiento frío tiene efectos sobre la calidad, entre los cuales se pueden citar los siguientes:

- Se retardan los procesos vitales en el alimento lo que resulta en un período mayor de tiempo en que el alimento es aceptable para el consumo humano.
- Algo de la actividad vital es usada por el almacenamiento de tejidos, por lo que después de un largo período, en frutas por ejemplo, no se tendrá la misma calidad que en frutas cosechadas recientemente. (26).

2. Congelación.

Los sistemas hielo-sal fueron utilizados para congelar alimentos en la mitad del siglo XIX y la invención de la refrigeración mecánica al final de dicho siglo, proporcionó la base para la explotación comercial del proceso. (41)

Las células vivas contienen dos tercios o más de su peso en agua. En este medio hay sustancias orgánicas e inorgánicas como: sales, azúcares y ácidos, en soluciones acuosas y también proteínas

que se encuentran en suspensión coloidal. También en algún grado están disueltos en la solución acuosa.

Se sabe que el punto de congelación de un líquido es aquella temperatura a la cual el líquido está en equilibrio con el sólido. El sistema debe ser enfriado a una temperatura a la cual la solución y el solvente sólido tengan la misma presión de vapor. El punto de congelación de una solución es más bajo que el de un solvente puro. El punto de congelación de un alimento es más bajo que el de un solvente puro como el agua. (41)

Debido al contenido de agua de la mayoría de los alimentos, la mayor parte de ellos congelan sólidamente a temperaturas entre -4 y -1 $^{\circ}\text{C}$. La temperatura del alimento bajo la congelación permanece relativamente constante hasta que el alimento está congelado en su mayor parte, después de este tiempo, la temperatura se aproxima a la del medio congelador.

El principio básico de todos los medios de congelación rápida es la velocidad para eliminar el calor del alimento. Estos métodos incluyen la congelación en ráfagas de aire frío, por inmersión directa del alimento en el medio enfriador, por contacto de placas refrigerantes en una cámara de congelación y por congelación de aire líquido, nitrógeno o bióxido de carbono. (41)

Como se mencionó anteriormente, el agua existe en los alimentos.

en diferentes formas, que son: agua del tipo I, II, III y IV.

En un extremo está el agua del tipo IV que se puede considerar el agua libre, y en el otro, el agua de tipo I, considerada la "verdadera" agua ligada. Puede haber cambios en el contenido de agua ligada debido a la congelación. Reduciendo la cantidad de agua libre en un alimento, mejora la calidad de éste al ser congelado. (34)

Si en el proceso de congelación, los cristales de hielo se forman lentamente, su tamaño es relativamente grande. Si el agua es congelada rápidamente, el hielo formado tendrá una textura fina. Los grandes cristales de hielo punzan los tejidos celulares, por lo que al descongelar el alimento, disminuye su calidad al perder textura. De este modo, la velocidad de congelación debe ser tal que los diminutos cristales se formen uniformemente por todos los tejidos, así, al descongelarse, inmediatamente el agua es reabsorbida por los tejidos a medida que los cristales se funden. (41)

Como métodos de congelación se pueden citar los siguientes:

- Congelación en aire.- En la congelación con aire sin movimiento, los alimentos se colocan empacados o sueltos en cuartos de congelación adecuados. Es el método más barato y más lento, los productos permanecen en la cámara de congelación hasta congelarse. El tiempo requerido para congelar el alimento depende de la temperatura de la cámara de congelación, el tipo de alimento a congelar, la temperatura del

alimento al entrar al congelador, el tipo, tamaño y forma del paquete del alimento y la disposición de los paquetes (tamaño de las pilas, espacios aislados, etc.), en el congelador.

En la congelación con aire forzado el tiempo de congelación para un paquete de alimento dado se reduce drásticamente instalando ventiladores en la cámara de congelación, pues el aire muy frío que se mueve a grandes velocidades, da como resultado una congelación más rápida.

-Congelación por contacto indirecto con refrigerantes.. El alimento se congela al colocarse en contacto con una superficie metálica enfriada por un refrigerante. El alimento también puede ser empacado en una lata y sumergido en un refrigerante. Las placas metálicas refrigeradas pueden moverse en la forma en que lo hace una banda o ser estacionarias. La salmuera refrigerada puede estar quieta o en movimiento turbulento.

-Congelación por inmersión directa. Es el método más rápido para la congelación del alimento. Las soluciones de cloruro de sodio y de azúcar han sido utilizadas como sistemas intercambiadores de calor a bajas temperaturas. Los productos alimenticios pueden ser congelados rápidamente y el contacto es íntimo entre el alimento y el refrigerante. Pueden obtenerse altas velocidades de intercambios de calor utilizando técnicas de flujo turbulento. (41)

Acerca de la influencia de la congelación sobre los microorganismos puede mencionarse que los organismos fermentadores y los mohos son

capaces de crecer a temperaturas mucho más bajas que aquellas que permiten el crecimiento de bacterias. La congelación lenta perjudica a la población microbiana. Las formas más susceptibles de microorganismos son las células vegetativas, las esporas no son dañadas por la congelación.

En cuanto al efecto sobre las proteínas, existe la posibilidad de la desnaturalización durante el proceso, y puede observarse coagulación si se efectúan congelación y descongelación repetidas.

La actividad enzimática solamente es retardada durante el proceso, por las temperaturas de congelación.

También es probable la oxidación de los lípidos, en especial las emulsiones aceite en agua o agua en aceite pueden volverse inestables por congelación, lo que es serio en alimentos precocinados.

El almacenamiento de los productos congelados sin paquete protector, provoca la oxidación y destrucción de muchos nutrientes, incluyendo las vitaminas. (26)

3. Enlatado.

A fines del siglo XVIII, Nicolás Appert, confitero francés, inventó un proceso que llamó "El Arte de la Appertización", pues observó que el alimento calentado en recipientes sellados era conservado si el recipiente no era reabierto o el sello no era roto. Hacia 1823

ACUSE DE RECIBIDO DE EJEMPLARES DE TESIS EN LA BIBLIOTECA CENTRAL

NOMBRE DEL ALUMNO:

NAVARRETE MADERO MARIA GABRIELA ESTHER

NOMBRE DE LA TESIS O SEMINARIO

LAS RADIACIONES IONIZANTES EN LA PRESERVACION DE LOS ALIMENTOS

ESCUELA O UNIVERSIDAD
UNIVERSIDAD
LA SALLECARRERA
QUIMICO
FARMACEUTICO - BIOLGOACUSE DE RECIBO
SELLO Y FIRMA DE
LA BIBLIOTECAENTREGO
DOS EJEMPLARES
DE TESIS EN
BIBLIOTECA
CENTRAL

| FECHA | DIA | MES | AÑO |
|-------|-----|------|------|
| | 22 | MAYO | 1989 |

- * Favor de llenar por triplicado con letra de molde
- * Entregar dos ejemplares de la tesis en la biblioteca central-UNAM
- * Exigir que le sellen y le firmen las dos copias

se inventó una lata con un agujero en la parte superior, permitiendo que el alimento fuera calentado en baños de agua hirviendo con el agujero cubierto con una tapa suelta, la tapa era soldada en su lugar después del tratamiento térmico. En 1820, aparecieron enlatadoras en las ciudades de Boston y Nueva York y para 1840, se extendieron a todo Estados Unidos. (26)

El proceso de enlatado comercial consta de las siguientes etapas:

- Recepción de productos primarios.
- Preparación del producto: lavado, clasificado, mondado, aderezado, cortado, deshuesado, etc.
- Llenado de los recipientes de alimentos.
- Hacer el vacío de los recipientes llenos.
- Proceso térmico y posterior enfriamiento de los recipientes.
- Almacenamiento de los alimentos enlatados.

Todos los productos deben ser revisados antes de introducirse en las latas.

El blanqueado es un tratamiento preliminar necesario para los vegetales, que se efectúa con agua caliente o vapor, pues esto suaviza los tejidos de productos como espárragos o espinacas, de modo que la lata pueda llenarse apropiadamente. Elimina aire de los tejidos, y así habrá menos aire dentro de la lata. También destruye las enzimas que pueden causar cambios indeseables en los alimentos antes del

enlatado. Debe cuidarse que el procedimiento de blanqueado sea lo mas corto posible, pues con esto es factible de perder muchos componentes solubles en agua, como sales minerales, vitaminas o sabores.

Las latas deben lavarse con máquinas especiales, antes de llenarse. (26)

El constituyente sólido debe llenar la lata lo mas posible, sin dañar sus piezas, y el líquido se empleará solamente para llenar los intersticios y remover la mayor cantidad posible de aire.

El vacío se produce calentando la lata llena en vapor o agua caliente por varios minutos para expulsar el aire y también se consigue elevar considerablemente la temperatura del contenido. También puede llevarse a cabo por medio de una máquina que cierre la lata al mismo tiempo que extrae el aire por medio de una bomba. La lata es sellada mientras la bomba está trabajando.

Todas las latas deben marcarse con alguna clave, de modo que pueda conocerse el producto que contiene y la fecha de empaque.

Las latas deben seguir un proceso de sellado tal que permita que sus extremos permanezcan cóncavos bajo las condiciones normales de almacenamiento comercial, no obstante la temperatura o altitud a que se encuentren. (34)

La temperatura del contenido de cada lata al momento de sellarse debe ser de al menos 130 oF. Esta temperatura debe ser suficiente para destruir al organismo de mayor resistencia al calor conocido, y cuya persistencia sea peligrosa para la salud del consumidor.

Los alimentos tienen microfloras asociadas, ciertos organismos se asocian con grupos particulares de alimentos, entran a estos durante la operación de enlatado, ya sea del suelo, de los ingredientes o del equipo. En los alimentos con pH mayor de 4.5 son importantes las bacterias mesofílicas formadoras de esporas anaerobias, por ejemplo el *Clostridium botulinum* y el *Clostridium sporogenes*, ésta última es más resistente al calor que la primera, por lo que sirve para evaluar la efectividad de los procesos térmicos. También existe formación de esporas de organismos termofílicos. (39).

Originalmente el método estandar para el establecimiento de la tolerancia al calor de las diferentes especies de bacterias fue el punto de muerte térmica, es decir, la temperatura más baja a la cual el organismo muere en 10 minutos. Este método debe tener en cuenta condiciones estandarizadas, la edad del cultivo, concentración de células, pH del medio y la temperatura de incubación. El tiempo de muerte térmica, es el tiempo requerido para hacer que mueran todas las bacterias presentes y se ha adoptado en el proceso de enlatado, manteniendo la temperatura constante y variando los tiempos de calentamiento. (39)

Para esterilizar adecuadamente los alimentos enlatados, es necesario conocer el tiempo y la temperatura requeridos, lo que involucra además de la destrucción de bacterias por calor, la velocidad de penetración de éste, la conductividad térmica de los recipientes y su contenido.

"F" es el valor que designa la resistencia al calor de un organismo o el número de minutos requeridos para destruir al organismo a 250 grados F. (121 °C). El valor "Z" es el número de grados Fahrenheit requeridos para que la curva del tiempo de muerte térmica recorra un ciclo logarítmico. Esto se debe a que el orden de muerte por calor húmedo es de naturaleza logarítmica.

La zona de calentamiento más lenta es llamada el punto frío de un recipiente y es la zona más difícil de esterilizar debido al retraso en el calentamiento. Los productos calentados por convección tienen el punto frío sobre el eje vertical, cerca del fondo del recipiente. Los productos calentados por conducción tienen el punto frío aproximándose al centro del recipiente sobre el eje vertical. (39)

4. Conservación por medio de Aditivos Químicos.

Se ha definido un aditivo químico como "la sustancia o mezcla de sustancias, diferente del alimento básico, presente en este como resultado de procesos como: producción, procesado, almacenamiento o empaçado. El término no incluye contaminantes ocasionales".

Los aditivos pueden ser de dos tipos: intencionales y no intencionales. (40)

Los intencionales o directos son añadidos a propósito para una función específica de acuerdo a ciertas disposiciones legales.

En esta categoría se cuentan 30 preservativos, 28 antioxidantes, 44 sequestrantes, 85 surfactantes, 31 estabilizadores, 24 agentes de blanqueo y maduración, 60 buffers, ácidos y alcalis, 35 colorantes, 9 endulzantes especiales, 116 suplementos nutritivos, 720 saborizantes, 357 saborizantes naturales y 158 misceláneos.

Los aditivos no intencionales se encuentran en la práctica en los productos agrícolas en cantidades aceptables. Se incluyen en esta categoría, los radionúclidos, material del agua utilizada en la preparación de los alimentos y residuos sucios como excretas de insectos y partes de estos. En general se definen como contaminantes necesarios del entorno. (40)

1. Enzimas.

Son factores importantes en la tecnología de alimentos. Las principales enzimas de aplicación industrial son:

- Carbohidrasas: hidrolizan polisacáridos y oligosacáridos.

Pueden citarse las alfa-amilasas que hidrolizan el almidón a dextrina y maltosa; las beta-amilasas que hidrolizan el almidón a maltosa y dextrina y la gluco-amilasa que hidroliza el almidón a glucosa.

Se utilizan en la manufactura de jarabes, dextrosa; en panificación; en sacarificación de mostos fermentados; en destilación; en cervecería y en la remoción de almidón de extractos de frutas, jugos y pectina.

- También pueden citarse las enzimas pecticas, producidas comercialmente a partir del *Aspergillus niger* y empleadas en el procesado de frutas.

- Celulasas y hemicelulasas.

- Proteasas, empleadas en productos lácteos, panificación, cervecería, carne y pescado.

- Catalasa: Remueve trazas de peróxido de hidrógeno, su aplicación principal es en la esterilización fría de leche que implica el uso de peróxido de hidrógeno.

- Enzimas saborizantes, empleadas en la formación de sabores.
(40).

2. Vitaminas.

Su adición tiene propósito nutricional principalmente, excepto el ácido ascórbico, carotenoides y tocoferol.

3. Aminoácidos.

El más empleado es el glutamato monosódico como potenciador del sabor.

4. Antimicrobianos.

Se consideran aquellas sustancias que, al añadirse a los alimentos, previenen o retardan su deterioro, por lo que también se les conoce como preservativos químicos. No entran dentro de esta clasificación los preservativos naturales, que son: la sal de mesa, azúcar, vinagre, especias y aquellas sustancias que se incorporan al alimento durante la exposición de este al ahumado natural.

Entre los preservativos químicos podemos citar:

- Sales sódicas o potásicas de sulfito, bisulfito o metabisulfito.
- Sales sódicas o potásicas de nitritos y nitratos..
- Acido sorbico.
- Acido propiónico.
- Acido acetico.
- Parabenos (esteres alquílicos del ácido p-hidroxibenzoico).
- Epoxidos (óxidos de etileno y propileno).
- Antibióticos (su uso dentro de la preservación de alimentos no está permitido en los Estados Unidos).
- Pirocarbonato dietílico. (40)

5. Antioxidantes.

El deterioro de los lípidos en los alimentos puede deberse,

a cualquiera de los siguientes procesos:

1) Rancidez: autoxidación de los ácidos grasos a nivel de la doble ligadura, lo que provoca olores desagradables.

2) Hidrólisis: produce sabor "jabonoso" y se debe a la ruptura de los ácidos y el esqueleto de gliceril.

3) Reversión: Provoca un sabor oleoso, el mecanismo aún no se ha dilucidado.

4) Polimerización: ocurre en grasas calentadas por periodos de tiempos largos.

Los antioxidantes utilizados comúnmente, son efectivos en la prevención de la rancidez, menos útiles para evitar la polimerización y no pueden prevenir la hidrólisis, que frecuentemente es enzimática, ni la reversión.

Los más utilizados son el butilhidroxianisol, conocido como BHA, el butilhidroxitolueno, o BHT, el galato de propilo, o TBHQ.(40)

6) Acidulantes: Su utilización obedece a varios propósitos:

-Agente saborizante: intensificadores de sabor, para encubrir sabores ineseables o para mezclar sabores característicos.

- Agente buffer: mantener un pH adecuado en el alimento.

- Conservativo: previene el crecimiento de microorganismos y la germinación de esporas.

- Sinergista: combinado con un antióxidante previenen la rancidez

y el empardecimiento.

- Modificadores de viscosidad: para dar forma y textura a productos de panificación.

- Agentes ablandadores: dulces y quesos fundidos.

- Agentes de curado: se usan junto con otras sustancias para mejorar el color, sabor y preservación de los productos curados.

Los acidulantes empleados comúnmente son los siguientes: ácido acético, ácido propiónico, ácido sórbico, ácido succínico, anhídrido succínico, ácido adípico, ácido fumárico, ácido láctico, ácido málico, ácido tartárico, ácido cítrico y ácido fosfórico. (40)

7) Secuestrantes: Son agentes quelantes. Ayudan a estabilizar, mantener y mejorar la integridad de muchos productos alimenticios. Sirven para estabilizar propiedades como color, sabor y textura. Reaccionan con los metales para formar compuestos y dependiendo de la estabilidad de éstos, alteran las propiedades y efectos del metal en el sustrato alimenticio.

Muchos se encuentran naturalmente en los alimentos. Pueden citarse los siguientes:

- Ácidos policarboxílicos: ácidos oxálico y succínico.

- Ácidos hidroxicarboxílicos: ácidos cítrico, málico y tartárico.

- Ácidos polifosfóricos: ATP, hexametáfosfato y pirofosfato.

- Aminoácidos: glicina, leucina y cisteína.

- Macromoléculas: porfirinas, péptidos y proteínas.

Entre los secuestrantes que se añaden a los alimentos, están los siguientes:

- Acetato de calcio, acetato dicalcico, acetato de potasio y acetato de sodio.
- Citrato de calcio, ácido cítrico, citrato de sodio, citrato de potasio, citrato monoisopropílico y citrato monoglicérico.
- EDTA.
- Gluconato de calcio y gluconato de sodio.
- Oxiestearina.
- Ortofosfato - acidomonocálcico, ortofosfato-acidofosfórico, ortofosfato de potasio dibásico, ortofosfato de sodio dibásico, ortofosfato de sodio monobásico y ortofosfato de sodio tribásico.
- Hexametafosfato de calcio y hexametafosfato de sodio.
- Pirofosfato de sodio.
- Tripolifosfato de sodio.
- Fitato de calcio.
- Sorbitol
- Tartrato de sodio, tartrato de sodio y potasio y ácido tartárico.
- Tiosulfato de sodio. (40)

B) Gomas: Son polisacáridos o polisacáridos modificados de ocurrencia natural que al dispersarse tanto en agua fría como en agua caliente, producen soluciones viscosas. De hecho, la principal cualidad de las gomas y por lo que son ampliamente utilizadas es su propiedad de producir una alta viscosidad aún cuando se disuelvan.

a bajas concentraciones. De esta manera, son capaces de estabilizar suspensiones, producir emulsiones y crear geles de rigidez controlada. Pueden ser exudados de algunas plantas como la goma arábiga, la goma de ghatti y la goma karaya. También pueden ser producto de algas marinas como el agar o ser polisacáridos producidos por la fermentación de algunos organismos como Xanthomonas como la goma de xantano. (40)

9) Almidón: Es una fuente de carbohidratos. Se utiliza como auxiliar en el procesamiento de alimentos por sus propiedades espesantes y debido a que actúa como estabilizador y modificador de la textura del producto. (40)

10) Agentes surfactantes. Comúnmente, se designa como superficie a la frontera existente entre un líquido y un gas; mientras que a la confluencia de una combinación de fases se le llama interfase. Las moléculas de una superficie al igual que las de una interfase, se comportan de manera diferente que las moléculas que forman cada una de las fases en contacto. Existen fuerzas de atracción hacia adentro de la fase que causan la reducción del número de moléculas que se encuentran en la superficie o en la interfase, por lo que éstas, se reducen a un mínimo. Estas fuerzas se denominan tensión superficial. Los compuestos surfactantes poseen un grupo hidrofílico (polar), y otro hidrofóbico (no polar), y se absorben en la superficie de la solución, lo que reduce la tensión superficial. Los surfactantes orientan la parte polar hacia la fase acuosa de la solución y las,

cadena de hidrocarburos a la fase gaseosa no polar. Al aumentar la concentración de surfactante, las moléculas se absorben como una monocapa hasta llenar la superficie. A concentraciones mayores, las moléculas adicionales de surfactante forman estructuras organizadas, micelas, en la solución.

Estas propiedades son particularmente importantes en la creación de emulsiones alimenticias.

Como agentes surfactantes se pueden citar los fosfolípidos, sales de ácidos grasos y monoglicéridos. (40)

11) Polioles: Son alcoholes polihídricos. Tienen diferentes aplicaciones:

- Agentes de viscosidad.
- Modificadores de la cristalización.
- Saborizantes y endulzantes.
- Humectantes.
- Ayudan a la rehidratación.
- Secuestrantes.
- Antioxidantes.
- Antimicrobianos.
- Suavizantes
- Alimentos dietéticos. (40).

12) Saborizantes: Tienen tres aplicaciones generales:

- Impartir sabor.
- Completar o modificar un sabor propio.
- Cubrir o enmascarar un sabor original.

Se clasifican en:

- Naturales: especies, oleoresinas, aceites esenciales y aceites destilados, y por último, extractos que pueden ser: de frutas, concentrados y la vainilla.
- Artificiales: Producidos químicamente. Se cuentan los terpenos y alcanfor como: alfa-peneno, borneol, alcanfor, eucalipto, carvol, alfa-terpineol, mentol, limoneno, iso-pulegol, mentone, timol, carverol, beta-geraniol, citral y citronela. (40)

13) Potenciadores de sabor. Son compuestos que añadidos a los alimentos desarrollan en estos, sabores deseables o suprimen sabores indeseables. No tienen sabor por sí mismos pero en pequeñas cantidades, generalmente desarrollan sabores favorables en los alimentos.

Se utilizan principalmente dos grupos de compuestos químicos: ciertos L-aminoácidos, como el ácido L-glutámico (MSG), y ciertos 5'-nucleótidos, como el guanosin 5'-monofosfato (5'-GMP), el inosin 5'-monofosfato (5'-IMP), entre otros. El mejor conocido es el glutamato monosódico (MSG), aunque la ingestión de grandes cantidades de esta sustancia puede producir trastornos a la salud.

Pueden mencionarse también el maltol, el dioctil sulfosuccinato de sodio, el N,N-di-o-toliletilenodiamino y el ácido ciclámico. (26)

14) Edulcorantes no nutritivos. Se utilizan principalmente en la industria de bebidas de bajas calorías. Entre estos compuestos se encuentran los ciclamatos y la sacarina (2,3-dihidro-3-oxobenzisulfonazol). (40)

15) Colorantes. Los colorantes naturales utilizados en el procesado de alimentos, están exentos de certificación. Los grupos de pigmentos utilizados se muestran en la siguiente tabla:

| GRUPO PIGMENTOS | NUMERO DE COMPUESTOS | COLOR | FUENTE |
|-------------------|----------------------|---------------------------|----------------------------|
| Antocianinas | 120 | Naranja, rojo, azul | Plantas |
| Flavonoídes | 600 | Sin color, amarillo | Plantas |
| Taninos | 20 | Sin color, amarillo | Plantas |
| Leucoantocianinas | 20 | Sin color | Plantas |
| Betalainas | 70 | Amarillo rojo | Plantas |
| Quinonas | 200 | Amarillo a negro | Plantas, bacterias y algas |
| Xantonas | 20 | Amarillo | Plantas |
| Carotenoides | 300 | Sin color amarillo y rojo | Plantas y animales |
| Clorofilas | 25 | Verde y café | Plantas |
| Pigmentos heme | 6 | Rojo y café | Animales |

Se han aprobado por la FDA tres carotenoides sintéticos: beta-caroteno, beta-apo-8-carotenal y cantazina, entre otros compuestos sintéticos. (40)

16) Fosfatos: Son aniones altamente cargados. La adición de ciertos fosfatos, incrementa la capacidad de retener agua de las carnes crudas y cocinadas. Se utilizan en la producción de embutidos, curado de jamones y para reducir la pérdida de humedad en aves y pescados. El más comúnmente utilizado es el tripolifosfato de sodio en el procesado de aves, carnes y pescados. (40)

Métodos por irradiación.

Aparte de las conservas envasadas, el proceso de irradiación es el único método artificial de preservación de alimentos perfeccionado hasta el presente.

Rápida, económica y eficazmente, sin aumentar la temperatura interna más que en pocos grados, la radiación ionizante puede preservar los alimentos por inhibición o destrucción de bacterias y otros microorganismos. (57)

La radiación actuando velozmente sobre las sustancias alimenticias, ioniza algunos átomos y altera la estructura de vitales moléculas grandes provocando la muerte de microorganismos.

Sin embargo, los alimentos no sufren efectos nocivos ni se tornan

radiactivos, con la ventaja de que las dosis reducidas de radiación producen menos pérdidas de vitaminas que los procesos de conserva, congelación o deshidratación. (84)

Algunas vitaminas se destruyen si se aplican dosis más elevadas de radiación, pero pueden ser reemplazadas, como suele hacerse en otros tratamientos de preservación.

La conservación por irradiación se efectúa por dos maneras:

- Pasteurización, que se consigue administrando dosis reducidas, y
- Esterilización, por medio de dosificaciones más altas. Los alimentos pueden irradiarse por el bombardeo con electrones o rayos X o con rayos gamma. (86)

La cantidad de radiación suministrada depende de la clase de alimentos y de los resultados que se deseen. Si el propósito es prolongar la vida de los mismos, es decir, su período de almacenamiento útil, una dosis de pasteurización entre 200 y 500 krads es suficiente.

Si se desea esterilizarlos para almacenar por largo tiempo sin refrigerar, la dosificación debe aumentarse a 20-45 kGy. (84)

El desarrollo potencial y la utilización de la esterilización por irradiación, ofrece un método de "esterilización fría" por medio del cual pueden ser conservados los alimentos sin cambio marcado

en su carácter natural. Existen por lo menos seis distintas áreas de aplicación para el procesado de alimentos por irradiación.

- 1.- La aplicación de dosis limitadas de radiación para prolongar la vida de almacenamiento de productos del mercado, tales como carnes cortadas, pescado fresco y frutas y hortalizas frescas. (84)
- 2.- La destrucción de insectos en varias etapas del ciclo de vida en los productos alimenticios, es factible con radiaciones ionizantes.

Puede realizarse la desinfestación de los productos empacados.
- 3.- Los procesos de crecimiento de los tejidos vegetales son sensibles a la radiación, por ejemplo, la inhibición de brotes en papas y cebollas.
- 4.- Las radiaciones ionizantes tienen utilización potencial como operaciones unitarias en las industrias alimenticias, por ejemplo, preparación de soluciones estériles de enzimas, hidrólisis de grandes moléculas, suavización de la carne, mejoramiento de los métodos de tostado para café y añejamiento de los vinos.
- 5.- Destrucción de parásitos en los alimentos del hombre y la destrucción de los microorganismos envenenadores de los alimentos. (84)

Debido a que los costos de la irradiación de alimentos dependen del nivel o dosis de irradiación utilizada, es de interés general bajar las dosis. Además de reducir los costos, también descienden los cambios organolépticos indeseables en los alimentos irradiados. De esta manera, existe un gran interés en combinar la irradiación de alimentos con otros métodos de preservación para mejorar el gusto, textura y olor de los alimentos, o su calidad bacteriológica o su seguridad biológica y reducir los costos y la energía. (86)

Una de las formas más efectivas de utilizar la irradiación para controlar la descomposición de los alimentos sin afectar adversamente sus cualidades organolépticas normales, es combinarla con un ligero tratamiento por calor. En el International Symposium on combination processes in Food Irradiation, organizado conjuntamente por la IAEA y la FAO en Colombo, por invitación del gobierno Sri Lanka, del 24 al 28 de noviembre de 1980, se reportaron resultados muy promisorios de ésta combinación, por ejemplo, previniendo la contaminación por mohos en el cacao almacenado en un ambiente tropical con alta humedad relativa o en la eficiente desinfestación de dátiles. La combinación de sumergir en agua caliente y después irradiar frutas tropicales como mangos o papayas, ha sido estudiado a nivel piloto en Sudáfrica y a nivel de investigación en México y otros países (89)

Podría citarse el caso de las especies cuyo procesado convencional es inadecuado para llenar los estándares higiénicos especialmente

de las naciones importadoras. La microflora que sobrevive la irradiación es altamente sensible al calor.

En algunos casos la aplicación combinada de preservativos inobjeta- bles toxicológicamente como el sorbato y un tratamiento de irradiación, puede extender considerablemente la vida de anaquel de algunas mercancías para de este modo, permitir su distribución más extensa. La estabilidad en el almacenamiento y distribución del pescado puede ser altamente incrementada a través de un proceso consistente en sumergir el tripolifos- fato y bajas dosis de irradiación. (89)

Muchos derivados de la carne y de aves de corral han sido esteriliza- dos en los Laboratorios Natick de los Estados Unidos por la combinación de aditivos convencionales, ligeros tratamientos con calor e irradiación y pueden ser almacenados durante años SIN refrigerar.

La esterilización por irradiación de carnes curadas permite la completa eliminación o drástica reducción de los nitritos. (89)

La combinación de irradiación con tratamiento calorífico suave para carnes, aves y pescado puede ser de gran beneficio futuro, sobre todo en los países en desarrollo, utiliza gran cantidad de energía. Para la esterilización por irradiación, los alimentos pueden cocinarse levemente para inactivar las enzimas, fritos o preparados de la manera preferida por el consumidor, luego empacados en una bolsa de aluminio laminado y después, esterilizados por irradiación en dosis de 10 .

a 50 kGy. Estos nuevos productos pueden ser procesados en un mismo lugar, y no requerir de un sistema de refrigeración de alta tecnología. Este alimento puede ser preservado de la descomposición durante el almacenamiento de una manera compatible con la infraestructura de muchos países en desarrollo.

Después de pruebas exhaustivas sobre la seguridad de los alimentos irradiados, no se han detectado efectos perjudiciales ni existe evidencia de que el valor nutricional sea afectado de una manera importante.

Sin embargo, existen efectos significativos sobre algunas vitaminas, que no son tan grandes como en los alimentos tratados con calor. La combinación de tratamientos puede agravar o aminorar estos efectos. Si la irradiación se lleva a cabo a bajas temperaturas o en empaques libres de oxígeno o en presencia de antioxidantes, pueden minimizarse las pérdidas de vitaminas. (84).

Radioconservación y Radioesterilización.

La preservación de los alimentos por irradiación puede llevarse a cabo de dos maneras:

- Pasteurización que se realiza a dosis bajas.
- Esterilización, que requiere niveles más altos de radiación.

La dosis de radiación aplicada depende del alimento en sí y del resultado deseado. Si la finalidad es prolongar la vida de anaquel,

o tiempo de almacenamiento, una dosis de "pasteurización" de 2 a 5 kGy es suficiente. Si se desea esterilizar el alimento para un almacenamiento muy prolongado sin refrigeración, se requiere una dosis entre 20 a 45 kGy. (57)

Aún a dosis muy bajas la radiación puede llevar a cabo efectivas tareas de conservación. Una dosis de 40 a 100 kGy aplicada a papas o cebollas es altamente efectiva para inhibir la germinación.

La exposición a una radiación gamma a dosis pequeñas (menor a 50 krads), baja el ritmo de crecimiento de los microorganismos causantes de descomposición, en los alimentos de la misma manera que lo hace el calor bajo utilizado en la pasteurización de la leche y que inhibe la acción de descomposición de los microorganismos.

La pasteurización con radiaciones puede extender el período de frescura de las frutas después de la cosecha.

Dosis bajas de radiación pueden desinfectar frutas, vegetales, trigo u otros cereales matando todos los insectos, huevos de insectos u hongos que se encuentren en el grano desde la cosecha.

La exposición a la radiación a altas dosis en un rango de 5 Mrads (50 kGy), destruye todos los microorganismos existentes en los alimentos. (57)

Análisis comparativo de la irradiación contra otros métodos.

Una de cada 8 personas en el mundo sufre de desnutrición, problema que tiende a empeorar según la población se duplique en los próximos 30 ó 40 años. (23)

Cerca de la cuarta parte de los alimentos cosechados se pierden debido a varias clases de desperdicio o descomposición, por lo que la preservación de los alimentos es tan importante como su producción.

La emergente crisis global de energía ha provocado la revisión de la eficiencia de los métodos tradicionales de conservación de alimentos en términos de su consumo de energía, además algunos procedimientos como el curado, la preservación química y la fumigación son ahora cuestionados en lo referente a su seguridad biológica, economía y la posible reducción en la calidad de los productos así tratados.

Más de 25 años de trabajo en la preservación de alimentos por irradiación han mostrado que este proceso tiene el potencial de reducir las pérdidas después de la cosecha y producir alimentos seguros.

Es un método que ahorra energía cuando se le compara con métodos convencionales de preservación de alimentos para obtener la misma vida de anaquel y la irradiación de alimentos puede reemplazar o reducir drásticamente el uso de aditivos o fumigantes que plantean riesgos para los consumidores. (23)

Los beneficios en la higiene de los alimentos procesados por irradiación pueden ser tan o más altamente significativos que las ventajas económicas. Esto es porque las dosis arriba de 5 kGy matan microorganismos patógenos no esporulados como Salmonella, Vibrio parahaemolyticus, Staphylococcus aureus, etc., que son las principales fuentes de descomposición de los alimentos. La contaminación microbiológica por esporas termoresistentes causantes de problemas en el enlatado de derivados de la carne y que provienen de especies insuficientemente descontaminadas, hace necesario aplicar un tratamiento térmico a la carne, lo que provoca un producto final menos aceptable desde el punto de vista organoléptico. Para descontaminar las especies, se utiliza la fumigación con óxidos de etileno o propileno, la efectividad de la fumigación depende del contenido de la mezcla que debe tener por lo menos un 10% para que resulte efectivo el tratamiento. (36)

Pero la fumigación no mata las levaduras y plantea riesgos para la salud de los trabajadores de la fábrica procesadora. La irradiación es un método relativamente sencillo que puede ser aplicado sin reempacar, mientras que la fumigación requiere varias etapas: rehidratación del producto con vapor durante 24 horas, remover el vapor residual del fumigante con frecuente flujo de aire sobre el producto con peligro de contaminación, secado y retriturado del producto a polvo. El costo de este tratamiento de fumigación de varias etapas es del doble de la irradiación.

Las frutas y verduras procedentes de regiones infestadas de

plagas deben someterse a tratamientos de cuarentena. El tratamiento de cuarentena aprobado actualmente para cítricos, papaya y otras frutas, consiste en la fumigación con fumigantes orgánicos bromados. La seguridad biológica de dicho tratamiento está siendo cuestionada. Virtualmente, todas las frutas comprometidas en tratados internacionales pueden ser irradiadas a dosis que controlen las plagas más importantes, como la mosca de la fruta. La irradiación requiere un corto período de tratamiento, al no existir residuos de fumigante, no es necesaria la aereación, lo que reduce el intervalo entre la recolección y el embarque a un día. El tratamiento de paquetes reduce la oportunidad de la reinfección dando una mayor seguridad en el tratamiento de cuarentena. (36)

Comparando la irradiación con otro tipo de métodos de conservación de alimentos por aditivos químicos como insecticidas, puede citarse el caso del pescado seco y curado que es un método popular para preservar pescado en países tropicales, donde se pone dicho alimento al sol, durante lo cual ocurre una infestación con varias especies de moscas, lo que lleva a la pérdida de grandes cantidades durante el almacenamiento y la venta en el mercado.

Antes de que se reconociera el problema de los residuos químicos, el único método que se utilizaba para la desinfestación era aplicar insecticidas directamente al pescado durante el secado. Además de la infestación por insectos, son levaduras, bacterias, rancidez y

decoloración, las principales causas de deterioración y descomposición del pescado seco. La irradiación gamma ha probado ser un método eficiente para la desinfestación de insectos en pescado seco y ahumado. Se requiere una dosis de 2 kGy para matar el 99% de las larvas, aunque una dosis de 0.2 kGy es suficiente para inactivar y prevenir el desarrollo de las larvas a adultos de todas las especies de moscas. Se ha determinado bajas dosis de radiación desinfestan, frutas, vegetales, trigo y otros cereales, matando insectos y sus huevos, a diferencia de la desinfestación química que mata insectos pero no sus huevos. (47)

Comparando la irradiación con tratamientos térmicos de conservación como la pasteurización de la leche, puede decirse que la exposición a bajas dosis de radiación gamma (menores a 50 krads) disminuye el ritmo de crecimiento de los microorganismos causantes de la descomposición de igual manera que dicho tratamiento. (84)

Desde el punto de vista nutricional, se ha comprobado que el alimento animal es más nutritivo con la esterilización por radiación que el esterilizado térmicamente.

Por otra parte, los costos de irradiación caen dentro de un rango competitivo con los métodos convencionales de procesamiento de alimentos.

Actualmente se están llevando a cabo experimentos con alimentos

pasteurizados y esterilizados por radiación, dándoseles en la dieta a ratas, pollos, perros y monos y posteriormente a humanos voluntarios. No se ha descubierto ninguna reacción fisiológica desfavorable. Hay destrucción de nutrientes a iguales niveles de los encontrados en otros métodos de conservación de alimentos. (84)

En cuanto al gasto de energía de la irradiación de alimentos comparada con otros métodos de preservación puede mencionarse lo siguiente, de acuerdo a estudios realizados por los laboratorios Natick de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos y por la compañía Atomic Energy of Canada Limited-Comercial Products:

La energía utilizada en el procesado de los alimentos es solamente una pequeña fracción de la utilizada en toda la cadena que incluye: producción, procesado, almacenamiento, distribución y preparación en el hogar.

La energía utilizada en el proceso de irradiación incluye: energía de la fuente, energía utilizada en transportar el producto a través de la celda de irradiación, energía utilizada por el equipo auxiliar como bombas de agua, ventiladores, etc., energía para iluminación, calentamiento y enfriamiento de la instalación, y debe incluirse la energía invertida en construir la fuente, su montaje, el blindaje de concreto, área de carga, cuarto de control y laboratorio de dosimetría. (14)

Los costos de la irradiación de alimentos se encuentran dentro de un rango competitivo con otros procesos convencionales de conservación.

En comparación, la irradiación de alimentos utiliza poca energía. Por ejemplo, se calcula que para inhibir la germinación de papas y cebollas se requiere un gasto de energía de aproximadamente 0.02 MJ/kg, mientras que el almacenamiento de estos productos a 4°C., durante seis meses requiere de 2.7 MJ/kg. (36).

En la tabla No. 1, pueden observarse los valores típicos de energía requeridos para el procesado de alimentos en kJ/kg, utilizando diferentes métodos de preservación.

En un estudio llevado a cabo por A. Brynjolfsson, se hace una comparación de la energía utilizada por diferentes métodos de procesado de pollo, cuyos resultados se encuentran resumidos en la Tabla No. 2. En todos los casos el pollo es sacrificado, desplumado, eviscerado y enfriado a +3°C.: separadas las menudencias y cortado en piezas.

Un análisis de la energía consumida por otros productos de carne resultaría muy similar al anterior.

Puede observarse que el proceso de radapertización es el que requiere menos energía, debido principalmente al ahorro en almacenamiento, ya que las carnes sometidas a este proceso pueden almacenarse varios años. De esta manera se tiene un alto grado de seguridad y flexibilidad en la distribución del producto, lo cual, desde el punto de vista de salud pública es especialmente importante, sobretodo en países donde el sistema de refrigeración y distribución al mercado no está muy desarrollado. El hecho de que el producto pueda almacenarse sin refrigerar, facilitaría el mercado y el ajuste de las fluctuaciones

en producción y demanda de éste.

Un punto de vista muy generalizado actualmente, es el que señala que en nuestros días deben considerarse otras formas de incrementar las reservas mundiales de alimentos con un consumo de energía menor que en el pasado, lo que representa un punto a favor de la preservación de alimentos por irradiación.(14)

TABLA No. 1 VALORES TÍPICOS DE ENERGIA REQUERIDOS EN EL PROCESADO DE ALIMENTOS. (kJ/kg)

| | |
|---|------|
| Radapasteurización con 2.5 kGy | 21 |
| Radapertización con 30 kGY | 157 |
| Esterilización por calor | 918 |
| Congelación de pollo por ráfagas de 4.4°C. | 7552 |
| Almacenamiento a -25°C durante 3.5 semanas | 5149 |
| Almacenamiento refrigerado 5.5 días a 0°C. | 318 |
| Almacenamiento refrigerado 10.5 días a 0°C. | 396 |
| Cocinado del pollo a 93°C. | 2558 |

TABLA No. 2 CONSUMO DE ENERGIA ASOCIADO A DIFERENTES METODOS DE PROCESADO DE POLLO (kJ/kg).

| | |
|--|--------|
| Pollo crudo refrigerado | 17,760 |
| Pollo radapasteurizado | 17,860 |
| Pollo fresco congelado | 46,600 |
| Pollo cocinado congelado | 27,550 |
| Carne de pollo enlatada | 20,180 |
| Pollo cocinado radapertizado | 14,260 |
| Pollo en raciones individuales cocinadas radapertizadas | 15,460 |

CAPITULO II

EFFECTOS DE LA RADIACION EN LOS ALIMENTOS

CAPITULO II

EFFECTOS DE LA RADIACION EN LOS ALIMENTOS

Mecanismos de la Radioconservación.

Al ser atravesada la materia por cualquiera de las formas de radiaciones ionizantes (beta, catódica, gamma, rayos X), se absorbe energía y se producen pares iónicos. La energía se absorbe por colisión de la radiación ionizante con las partículas del alimento causando excitación e ionizando miles de átomos en su trayectoria, lo que ocurre en períodos de tiempo de menos de 0.001 segundos. La radiación primaria distribuye su energía a través de todo el volumen de absorbedor, muchos de los electrones que fueron expulsados de los átomos gracias a la ionización, pueden ellos mismos poseer suficiente energía para ionizar otros átomos. (68)

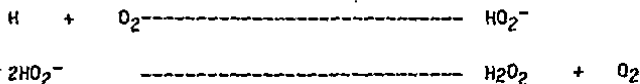
La producción del par iónico por las radiaciones ionizantes es un proceso muy eficiente, ya que es gastada muy poca energía requerida para la esterilización por radiación es 1/50 veces de la requerida para la esterilización térmica. (68)

Las radiaciones ionizantes producen grandes cambios químicos en los materiales irradiados. Bajo condiciones ordinarias cualquier substancia oxidable puede ser oxidada y cualquier substancia reducible puede ser reducida. Los efectos biológicos de la radiación son resultado de cambios discretos en las estructuras atómica y molecular del material

irradiado, aunque probablemente menos del 0.01% de las ligaduras químicas son afectadas. (21)

Ha sido presentada evidencia que indica que el "golpe directo" puede ser responsable de algunos efectos biológicos específicos, pero que muchos efectos son causados en todo o en parte por la radiación que induce la ionización del sistema solvente del material biológico. (30) La irradiación de un material que contiene agua, causa la ionización de una parte de las moléculas de agua con la formación de hidrógeno altamente reactivo y radicales hidróxilos, los cuales contribuyen sustancialmente a los efectos biológicos de la radiación ionizante, así, hay un efecto indirecto de la irradiación de tejidos húmedos causado por éstos radicales libres. (16)

El hidrógeno y los radicales hidroxilos son químicamente muy activos y pueden actuar como agentes reductores y oxidantes. Secundariamente, los productos de la irradiación pueden ser de igual importancia, ya que en presencia de oxígeno disuelto el átomo de hidrógeno puede combinarse con oxígeno molecular para dar el muy reactivo radical peróxido HO_2 , que a su vez, puede formar peróxido de hidrógeno:



Los radicales hidróxilos también pueden formar peróxido de hidrógeno:



Efecto en las proteínas.

Con el desarrollo de los instrumentos aceleradores de electrones y la producción de productos de fisión de alta actividad, comenzó el proceso de investigación intensiva. Sus efectos en los alimentos han sido objeto de mucho estudio, incluyendo la investigación sobre los efectos de radiación en las proteínas componentes. (9)

Los alimentos de alto contenido proteínico pueden exhibir grandes cambios en el sabor cuando son esterilizados con radiaciones ionizantes o por métodos convencionales. (8)

Puede haber desnaturalización de proteínas con radiaciones ionizantes como un resultado de la acción indirecta de la radiación. Las dosis de radiación lo suficientemente grandes como para precipitar las proteínas desarrollan la siguiente secuencia de eventos: (1) Apertura de las cadenas de péptidos, (2) polimerización, (3) coagulación, (4) precipitación. La movilidad electroforética de las proteínas es reducida a niveles de alta radiación. Compuestos de amoníaco que contienen azufre y bióxido de carbono son liberados de las proteínas después de irradiación prolongada. (27)

Los efectos de la irradiación varían inversamente con la concentración de proteínas. En la irradiación de proteínas también se observan deminación y descarboxilación, los productos resultantes son los ácidos orgánicos y aminas correspondientes con un carbón menos que

los aminoácidos originales. (27)

Efecto en los azúcares.

El tratamiento de carbohidratos polímeros con radiación ionizante produce depolimerización.

El almidón en solución acuosa expuesto a dosis de 1.5×10^6 rads se -
desdobra en fragmentos de maltosa, más irradiación de unidades de
hexosa finales. A este nivel de irradiación, aproximadamente el 40%
del almidón es degradado, lo que se comprueba por la pérdida de reacción
positiva en presencia de yodo y la prueba positiva de Fehling para
los azúcares reductores. La irradiación de polisacáridos causa depolimeri-
zación y fragmentación de moléculas más simples. Al irradiar almidón
de trigo se observa glucosa y maltosa, así como maltotriosa y maltopento-
sa. En cantidades más pequeñas se ve ácido fórmico, formaldehído,
acetaldehído y glicolaldehído. También se forman pequeñas cantidades
de hidrógeno, dióxido de carbono, cetonas y ácidos. Los compuestos
producidos son encontrados en muchos productos naturales y en alimento
procesado de forma convencional. Algunos de estos compuestos son
tóxicos para organismos unicelulares pero no para mamíferos en las
concentraciones producidas por irradiación. (30)

Las soluciones de pectina son degradadas tanto como el almidón.

Se pueden relacionar los efectos de las radiaciones ionizantes
sobre el almidón y la pectina con el fenómeno de aumento de la actividad

respiratoria de frutas irradiadas y la susceptibilidad aumentada de las frutas tratadas a los microorganismos causantes de putrefacción.

La celulosa es hecha más soluble por medio de irradiación.

El peso molecular de las dextrinas puede ser reducido con radiaciones ionizantes controladas. (30).

El uso potencial de la radiación ionizante como una operación unitaria en la manipulación de carbohidratos polímeros parece prometedor.

Los cambios de almidón a azúcar forman el proceso hidrolítico normal en la maduración de las frutas y pueden ser aumentados con radiaciones ionizantes. (30)

Efectos en los lípidos.

Se ha encontrado que los lípidos son sensibles a la radiación. Las radiaciones ionizantes causan la destrucción de los antioxidantes de ocurrencia natural por lo que, enseguida se forman peróxidos y aparecen los compuestos carbónilos y ácidos (42)

En general, la mayoría de los aceites vegetales y aceites y grasas de origen animal, aumentarán sus peróxidos y su acidez por la exposición a dosis altas de radiaciones ionizantes.

La irradiación de ácidos grasos saturados puros en ausencia

de oxígeno, da como resultado la formación de hidrógeno, bióxido de carbono, monóxido de carbono, vapor de agua y gases de hidrocarburos volátiles. El producto principal no volátil es un simple hidrocarburo parafínico pues ocurre una descarboxilación. (45)

En emulsión acuosa, la principal reacción que ocurre en ausencia de oxígeno es causada por el sistema de radical libre creado en la ionización del agua. La interacción de radicales libres con componentes lípidos, es la reacción principal. (42)

Los productos radiolíticos de los lípidos (químicamente descompuestos por irradiación), han sido estudiados, la reacción principal involucra el rompimiento de una ligadura sencilla seguida por la abstracción de un hidrógeno. Otras reacciones frecuentes son rompimiento del enlace aciloxi-metileno causando los ácidos grasos libres que parten de los triglicéridos. También puede ocurrir un rompimiento de las ligaduras carbón-carbon con el resultado de un espectro de hidrocarburos alifáticos.

Estos efectos se ven notoriamente reducidos por irradiación a temperatura de congelación. (45)

Efecto en las vitaminas, minerales y enzimas biológicas.

Efecto en las vitaminas.

Las vitaminas generalmente son sensibles a las radiaciones ionizantes, y en los alimentos, la destrucción de éstos nutrientes es de

la misma magnitud que la destrucción de vitaminas en el procesado térmico. (9)

La vitamina K es particularmente sensible a daño por irradiación.

El ácido ascórbico reacciona muy rápido con los radicales OH^{\bullet} formados en el agua. El producto final de la reacción es el ácido de dehidroascórbico. (9)

A dosis de esterilización, la tiamina, y el ácido ascórbico son destruidos casi en el mismo grado que en la esterilización por calor. Si se irradia el alimento en estado congelado, se reduce la destrucción de estas vitaminas. La tiamina y el ácido ascórbico se destruyen durante el almacenamiento en el mismo grado que en muestras o paquetes de alimento no irradiado. (50)

Efecto en los minerales.

No se ha detectado ningún cambio notable, aún a las dosis de esterilización mayores o iguales a 2.5 Mrad irradiando los alimentos con rayos gamma del Cs-137 o del cobalto -60 o con electrones acelerados. (50)

Efecto en las enzimas biológicas.

Las onzimas pueden ser inactivadas por efecto directo o por efecto indirecto de las radiaciones ionizantes, aunque ambos ocurren

al mismo tiempo.

Las enzimas son más resistentes a los efectos de las radiaciones ionizantes en los sustratos naturales que en soluciones puras. (83)

Las velocidades de reacción enzimática han sido estudiadas considerando el efecto de la irradiación sobre la enzima, el sustrato y su combinación, sobre la actividad resultante. Una dosis de radiación que no destruya la enzima en un sustrato adecuado, se encontrará con la reacción iniciada. Si una enzima no tratada reacciona con un sustrato irradiado, la velocidad de reacción aumenta comparada con la de un sustrato no irradiado, lo que se debe probablemente a una activación de sustrato pues existe un desdoblamiento de la molécula volviendo el punto de ataque más accesible para la enzima. (83).

La inactivación de las enzimas por calor húmedo usualmente coincide con la destrucción térmica de las formas vegetativas de los microorganismos, lo cual no ocurre con la conservación de alimentos por irradiación; la completa inactivación de las enzimas requiere dosis del orden de 5 veces la requerida para la destrucción de los microorganismos. (67)

Muchas enzimas tienen pesos moleculares de alrededor de 10,000 y no se reducen de manera significativa aún a dosis de esterilización, lo que contrasta con la esterilización con calor que inactiva la

mayoría de las enzimas.

Una combinación de tratamiento con calor e irradiación con rayos gamma ha demostrado ser efectiva en la inactivación enzimática y aumento del período de utilidad comercial de frutas frescas con dosis de radiación relativamente bajas (unos cuantos krad). (69)

Cambios físicos y organolépticos.

Se han realizado experimentos con tropas voluntarias de los Estados Unidos, mediante los cuales se ha querido probar la aceptabilidad de los alimentos conservados por radiaciones ionizantes. Estos experimentos se han llevado a cabo con lomo de puerco con enzimas inactivadas mediante calor suave y al que se aplicó una dosis de 4.8 Mrad almacenado en paquetes adecuados durante un año a la temperatura ambiente. Los resultados revelaron que este producto tuvo la misma aceptación que el lomo de puerco fresco entre varios cientos de consumidores. También se ha probado con tocino esterilizado con los mismos resultados satisfactorios. (56)

La adición de paquetes de carbón en los recipientes de alimentos irradiados resulta en gran mejoría del olor de los alimentos después del almacenamiento, y son particularmente efectivos en los alimentos precocinados listos para comer.

Se ha encontrado sabor extraño en los alimentos irradiados que puede desaparecer en el almacenamiento, lo que resulta muy útil para

el éxito del proceso. (56)

Cambios Microbiológicos.

La acción de las radiaciones ionizantes sobre una célula puede dividirse en tres periodos:

- a) Período de principio: se relaciona con la situación celular en el momento de la irradiación.
- b) Período medio: Ocurren las reacciones que llevan al efecto final.

La célula está en un estado fisiológico de alteración de su núcleo, probablemente debida a la acción indirecta de las radiaciones sobre el citoplasma de la célula o aún debido a la activación del medio que rodea a la célula.

- c) Período final: Es la expresión de los efectos de la radiación como: letalidad, mutaciones genéticas, inhibición del crecimiento y alteraciones en los requerimientos de nutrientes. (79)

Las condiciones circundantes de los microorganismos vivientes antes y después de la irradiación, modifican los efectos letales, por ejemplo, la presencia de oxígeno en las suspensiones celulares proporciona mayor resistencia los organismos hacia las radiaciones ionizantes.

Las esporas bacterianas son más resistentes a la acción germicida de las radiaciones ionizantes que las células vegetativas. (79)

Las características del alimento dictan los tipos de microorganismos capaces de descomponerlo. La clasificación por acidez de los alimentos es útil tanto en el enlatado, como en la esterilización por radiación. (66)

A valores de pH arriba de 4.5 debe considerarse seriamente el *C. botulinum* que es el organismo más resistente al calor causante de dificultades. La dosis de esterilización debe basarse en la ausencia de células viables de *C. botulinum*.

Ciertos microorganismos como el *Micrococcus radiodurans*, poseen resistencia poco usual a la radiación, ya que sobrevive a dosis que eliminan al *C. botulinum*. Otros micrococos rojos y estreptococos fecales son desusualmente resistentes y sobreviven (junto con levaduras y mohos), a las dosis usualmente dadas para la pasteurización por radiación. Algunas levaduras patógenas pueden sobrevivir a dosis consideradas satisfactorias para la pasteurización por radiación.

La resistencia a la radiación de algunas bacterias, puede ser aumentada paso a paso hasta en dos veces por unas pocas dosis repetidas a un nivel de dosis constante y varias veces por un aumento progresivo de la dosis aplicada. (66)

Factores que influncian la supervivencia de microorganismos de un proceso de irradiación:

- a) Tipo de radiación: Las radiaciones de neutrones o partículas alfa (partículas pesadas), tienen un efecto menor sobre los microorganismos vegetativos que las radiaciones de fuentes de electrones o gamma y no puede ser usada para irradiación de alimentos pues puede inducirse con neutrones, radiactividad a bajo nivel en el material irradiado.
- b) Condiciones circundantes:
- Oxígeno: La presencia de oxígeno aumenta dos o tres veces la sensibilidad de las bacterias vegetativas a la irradiación.
 - Temperatura: Los efectos de la irradiación son diferentes arriba y abajo del punto de congelación del sistema. La congelación reduce los efectos de la radiación en el alimento y también reduce el efecto sobre las bacterias vegetativas, aunque existe evidencia de que las esporas de *Cl. botulinum* no son protegidas de forma similar.
 - Compuestos orgánicos: Generalmente los microorganismos son más resistentes a la irradiación en un medio orgánico, para propósitos prácticos es esencial hacer observaciones con sustratos alimenticios.
 - Sales inorgánicas: Muchas sales, como el cloruro de.

sodio, no tienen ninguna influencia importante sobre los efectos inmediatos de la irradiación, pero si tienen influencia sobre la recuperación.

Pocas sales como los nitritos y sulfitos tienen efecto protector.

- Compuestos protectores: Muchos compuestos orgánicos, incluyendo compuestos del SH⁻ protegen a los microorganismos influyendo la tensión de oxígeno. Algunos constituyentes de los alimentos (por ejemplo catalasa), tienen acción protectora antes o después de la irradiación.
- Compuestos sensibilizadores: Los compuestos que se combinan con los grupos SH⁻ sensibilizan a los microorganismos a la radiación, pero con frecuencia resultan altamente tóxicos para los mamíferos (por ejemplo los acetatos halogenados).

Otra posibilidad es el uso de procesos químicos o físicos para provocar la germinación de todas las esporas antes de aplicar la radiación. (64)

La irradiación de alimentos es el UNICO TRATAMIENTO conocido hasta la fecha, que puede ser aplicado en cualquier material de empaque (papel, cartón, plástico, vidrio, madera o latas metálicas), evitándose así el peligro de la recontaminación o reinfestación del producto. Los alimentos pueden ser tratados sin cocinar, semi-preparados, semi.

o totalmente deshidratados o en forma natural, ya que el tratamiento es considerado como "frio". (64)

CAPITULO III

PRUEBAS DE COMESTIBILIDAD EN ALIMENTOS IRRADIADOS

CAPITULO III

PRUEBAS DE COMESTIBILIDAD EN ALIMENTOS IRRADIADOS

Antes de que los alimentos irradiados puedan estar disponibles para el consumo, debe demostrarse que son inocuos cuando se consume por largos períodos de tiempo. El concepto de comestibilidad se basa en las siguientes características:

- Ausencia de radiactividad inducida.
- Conservación del valor biológico y nutricional de los alimentos.
- Ausencia de efectos tóxicos o mutagénicos.

Cualquier método de conservación de alimentos debe llenar las siguientes características:

- Retener la calidad nutricional del alimento.
- El alimento debe quedar libre de microorganismos patógenos y degradadores y sus toxinas.
- El alimento debe quedar libre de los compuestos químicos que causan efectos tóxicos, cáncer, cambios genéticos, defectos congénitos.

El objetivo de las pruebas de comestibilidad es probar que el alimento es seguro para el consumo humano. (44)

Las pruebas de comestibilidad frecuentemente se iniciaban con el desarrollo de un proceso particular de irradiación debido al tiempo requerido para completar las pruebas. En investigaciones subsecuentes sobre el proceso se descubrían factores que provocaban cambios en

éste y así al alimento irradiado para las pruebas de comestibilidad en animales resultaba tratado de diferente manera que la que se usaría en definitiva en la planta comercial.

Al diseñar las pruebas de comestibilidad se debe contar con los siguientes factores:

- Alimento (especificaciones del proceso y nivel en la dieta).
- Proceso: Fuente de irradiación, dosis (entre límites definidos), temperatura y presión durante la irradiación, tiempo de almacenamiento y condiciones de este (antes y después de la irradiación).
- Empaque: consideraciones toxicológicas. (2)

Los experimentos llamados de "largo plazo" involucran más de seis meses de estudios de alimentación hasta dos años más o menos. Incluyen estudios de crecimiento, utilización del alimento, fertilidad, lactación, función de los diferentes órganos, hematología, mortalidad e histopatología.

Los experimentos a "corto plazo" tienen una duración de 4 semanas hasta seis meses aproximadamente. (44)

Se usan varias pruebas a corto plazo para predecir carcinogénesis, entre ellas la prueba Ames, que utiliza diferentes niveles de histidina, mutantes deficientes de *Salmoneila Typhimurium* con y sin la acción de activación de las preparaciones microsomales de hígado de rata.

Da un 91% de predicciones exactas usando carcinógenos conocidos y no carcinógenos y es la más ampliamente usada. (6)

El proceso que se utilizará para el tratamiento de los alimentos para consumo humano debe utilizarse para tratar el alimento de las pruebas de comestibilidad y debe usarse la misma dosis, asimismo debe simularse lo mejor posible la distribución de la dosis. (44)

Por medio de un juicio científico se decidirá cuando se necesitan estudios de toda la vida del animal o cuando las pruebas de toxicidad a corto plazo serán suficientes para obtener un adecuado suplemento a la evidencia general disponible. Esta decisión sólo se toma considerando un solo tipo de alimento. (16)

El estudio sobre la comestibilidad de un determinado tipo de alimento puede involucrar tres fases:

- 1) Estudios toxicológicos a corto plazo con animales.
- 2) Estudios a corto plazo con humanos voluntarios. En el cuadro número 1 se enlistan 54 artículos probados de 1955 a 1959, a los cuales se les realizaron 7 pruebas de 15 días no encontrándose indicaciones de toxicidad debida al consumo.
- 3) Estudios a largo plazo para comprobar la toxicidad y la calidad nutricional. En el cuadro número 11 se muestran 22 alimentos probados de 1956 a 1965. (80)

Al irradiar el alimento pueden ocurrir cambios químicos complejos, la naturaleza y toxicidad de las sustancias producidas puede no conocerse completamente. Según Hickman es práctico suministrar el alimento irradiado en la más alta proporción en la dieta para demostrar que no hay efectos indeseables en los animales tratados bajo estas condiciones, debe asegurarse que el suministro anormalmente alto de un solo tipo de alimento no afecta a los animales experimentales. Las dietas de estudios a largo plazo pueden suplementarse para evitar cualquier pérdida en valor nutritivo y evitar cualquier deficiencia en los animales bajo esta dieta. (46)

Según Schubert, en estudios con animales, la fracción del alimento irradiado o no, incorporado a la dieta normal de un animal experimental, no debe ser excesivo o alterar el metabolismo normal del animal. (76)

También deben simularse las condiciones de almacenamiento pre y post-irradiación.

Aunque ciertos alimentos no requieren de empaque para que el proceso de irradiación sea eficiente, la mayoría de los procesos de alimentos dependen de que el alimento tratado sea empacado en envase sellado para prevenir la reinfección después del tratamiento. Se dispone de un amplio rango de materiales de empaque. Tratando del material de empaque surgen dos cuestiones:

- 1) Si se producen sustancias tóxicas cuando el empaque es irradiado, y
- 2) Si se forman los compuestos tóxicos y lo hacen en la cantidad suficiente para que causen daño al ser consumidos.

Un camino es investigar las propiedades toxicológicas del empaque irradiado per se: por medio de estudios de extracción o estudios en dietas de animales, o ambos. Otra alternativa es probar la seguridad del alimento ya irradiado dentro de su empaque. (76)

El medio en que una sustancia genotóxica está presente, consiste en una mezcla de sustancias químicas que pueden modificar la sustancia biológica. La sustancia potencialmente genotóxica puede ser solamente un componente individual de una combinación de esas sustancias. Estamos expuestos simultáneamente a multitud de potencialmente dañinos agentes químicos, físicos y biológicos. El establecimiento de niveles permisibles o aceptables de admisión basados en pruebas genotóxicas de una sola sustancia aislada puede ser un error serio. (69)

Un alimento particular puede afectar la expresión o supresión de un agente mutagénico, si es un aditivo alimenticio, contaminante externo o un tóxico de ocurrencia natural. Existen muchos tóxicos de ocurrencia natural en los alimentos como: alcaloides de pirrolizidina, cicasina, micotoxinas y aflatoxinas. (69)

Se ha observado mutagénesis en sistemas microbianos, lo que

significa que los resultados negativos en pruebas Ames pueden ser más aparentes que reales.

Se ha observado potenciación en la mutagénesis del nitrito de sodio con etilurea. Una pequeña pero significativa potenciación también ocurre al tratar ratones con dimetilamina en presencia de nitrito de sodio. Las ratas y ratones alimentados con dietas conteniendo nitrito de sodio y aminos secundarias desarrollan tumores característicos de nitrosamina. (49)

Aún cuando se producen compuestos por irradiación en los alimentos, su actividad puede no expresarse o viceversa, puede incrementarse o potenciarse. Después de estudios se encontró que en muchos casos la respuesta de un mutágeno conocido en preparaciones de alimento irradiado depende por ejemplo de si el alimento ha sido calentado o no, o de la cepa bacteriana empleada. (51)

Muchos alimentos irradiados evaluados por la Junta de Comité Experto de FAO/IAEA/WHO fueron probados en cuanto a efectos en reproducción y mutagénesis no observándose efectos en reproducción y mutagénesis, no observándose efectos significativos en almidón de maíz, pescado, hongos, papaya, papas, arroz, fresas y trigo. (69)

Las soluciones de sacarosa irradiadas son citotóxicas y mutagénicas en división celular, in vitro, si se irradian las soluciones congeladas

no son mutagénicas, ninguna de las soluciones de sacarosa y ribosa irradiadas con 2 Mrad mostraron respuesta mutagénica, en ensayos de huésped intermediario con ratones como huésped mamífero. (22)

Las investigaciones realizadas en el Huntingdon Research Center para el International Project in the Field of Food Irradiation, se hicieron con ratas alimentadas con papas cocinadas sin cáscara y fueron seguidas durante varios ciclos reproductivos. Al final se analizaron los cromosomas, se hicieron estudios teratológicos y sobre malformaciones congénitas. Las papas se hicieron pasta después de pelarse y cocinarse con vapor y machacarse a delgadas hojuelas y posterior secado a 37.8°C. durante 72 horas. Las escamas tienen un contenido de agua del 35%. Por añadidura se estudiaron los residuos de pesticidas. Los controles incluían la dieta comercial estándar y las papas no irradiadas preparadas de igual manera que las irradiadas a 12 krad. No se encontró ningún efecto adverso. (80)

Van Kooij y Van Logten, realizaron una investigación con cerdos por 3 generaciones. Los animales se dividieron en tres grupos: (1) grupo control: alimentado con una mezcla de alimento no tratado. (2) grupo alimentado con 100% de alimento calentado a 120⁰ C. durante 10 - minutos. (3) grupo alimentado con alimento irradiado a 5 Mrad. (56)

En ganancia de peso no hubo diferencia durante el período en que el alimento consistió solamente de leche materna en las tres

generaciones. Las diferencias empezaron 2 semanas después con el alimento sólido. En los días 34 a 49 el grupo (2) ganó sólo 337 g comparado a 427 y 462 g para el control y el alimento irradiado. En total el promedio de peso de los animales que se alimentaron con alimento no tratado fué de 15.2 kg., los de alimento irradiado 15.3 kg., y el grupo de comida tratada por calor fué de sólo 13.7 kg. (56)

En 1965 los científicos de Surgeon General concluyeron que: "Los alimentos irradiados a dosis absorbidas mayores a 5.6 Mrad con fuente de cobalto -60 de radiación gamma o de electrones con energías mayores a 10 millones de eV, se han encontrado comestibles, seguros y adecuados nutricionalmente". (36)

The Interdepartmental Committee on Radiation Preservation of Food ha constituido 4 paneles de científicos estudiando y revisando las perspectivas de la irradiación de alimentos en los Estados Unidos. Estos paneles estudian separadamente frutas y vegetales, pescado y productos marinos, aves y productos avícolas y por último carnes y productos derivados y han tenido muchas reuniones. En los reportes preliminares concluyen que la irradiación a bajas dosis puede reducir el uso de productos químicos como pesticidas en frutas y vegetales y nitritos en carnes. Reduce significativamente Salmonella y otros patógenos en aves y otros productos frescos. (73)

En los Laboratorios Wantage de la Gran Bretaña, se realizó un

experimento con dietas esterilizadas por irradiación en animales de laboratorio. Cien parejas de crías de ratas fueron alimentadas con dieta irradiada y cien parejas con dieta no irradiada. Los análisis estadísticos muestran que la dieta irradiada es tan satisfactoria para sustentar la colonia como la no irradiada. Se analizó el crecimiento de las ratas en ambos tratamientos y no se encontraron diferencias.

Muchos cientos de toneladas de dietas para animales se irradian ahora con 2.5 Mrad de radiación gamma. Las dietas de conejos, cerdos y pollos esterilizadas de esta manera, se han administrado a los animales y se ha observado cuidadosamente a éstos sin encontrar efectos adversos atribuibles a la misma. (61)

Según un artículo publicado por A.N. Zaytsev en 1975, en la Unión Soviética se han realizado estudios de comestibilidad de varios alimentos, entre los cuales pueden citarse los siguientes:

- Papas: Se utilizaron varias generaciones de perros y ratas, administrándoles papas irradiadas a 10-15 krad. En los estudios realizados posteriormente a dichos animales no se detectó cambio en la composición química o valor biológico del alimento, ni se observó ningún efecto tóxico atribuible al consumo de las papas. (Okuneva 1966) (94)
- Granos: Los animales experimentales fueron ratones, ratas, palomas y perros. El grano fué irradiado a dosis de 10-

30 krad, no se encontró ningún efecto adverso en el crecimiento o procesos reproductivos de la progenie o la composición morfológica de la sangre y la morfología de los órganos individuales.

- Frutas secas: Los análisis toxicológicos de pasas y duraznos irradiados a dosis de 30 krad, administrados a Rhesus monkeys (genus Macaca), no revelaron cambios significativos en su estado de salud. (Schilling et al 1966).
- Carnes y Aves: Las muestras elegidas para este estudio fueron carne fresca, pollo y puerco. El bistec fué irradiado a 600 krad, el puerco a 800 krad y el pollo a 600 krad. Se suministraron en aproximadamente el 50% de la proteína de la dieta y 16% del contenido calórico normal. Los animales experimentales fueron perros y el estudio fue de 18 meses de duración. Los parámetros a medir fueron el intercambio de proteína, lípido y vitaminas, la morfología sanguínea y estudios histológicos de algunos órganos incluyendo gónadas. Estas investigaciones no revelan ningún efecto tóxico de los productos animales irradiados en los organismos de los animales experimentales, ni efectos desfavorables en el crecimiento y desarrollo de los animales, procesos metabólicos y función reproductiva de la progenie. Los animales experimentales no mostraron ningún cambio morfológico en sus tejidos o mayor evidencia de tumores comparados con-

Los animales de la dieta control. A partir de estos experimentos puede verse claramente que la aplicación de dosis de radiopreservación a derivados de la carne no da lugar a ninguna sustancia de efecto tóxico. (94)

- Pescados: Estudios de dietas de pescado fresco irradiado a dosis de radiopreservación de 600 krad y pescado parcialmente cocinado irradiado con dosis de radiosterilización de 1.5 Mrad se llevaron a cabo con ratas como sujetos experimentales. En la primera y segunda generación de ratas alimentadas con pescado radurizado se notó un disturbio en la función reproductiva de la progenie, este efecto gonadotóxico se reflejó en una reducción de la actividad espermatozoica de los machos experimentales y una reducción en el peso de las gónadas comparados con los animales control. En la primera generación de hembras experimentales se notó una tendencia a la reducción en el rango de sobrevivencia entre la progenie comparado con los animales control. El conjunto de análisis patológicos también indica un incremento de las enfermedades corrientes en los animales experimentales comparados con el control. (Schillinger y Osepova 1970). Una posible explicación para los efectos observados en las ratas alimentadas con pescado irradiado puede ser que el pescado crudo fué irradiado congelado en vez de fresco. De cualquier modo es concebible, aunque también cuestionable,

que la irradiación puede haber inducido la formación de ciertos productos de radiólisis aún no identificados, los cuales fueron responsables de estos efectos.

El pescado parcialmente cocinado irradiado a 1.5 Mrad probó ser menos satisfactorio que el producto similar (bacalao en salsa de tomate), esterilizado por tratamiento por calor, con respecto a la eficiencia protéica y el rango de crecimiento relativo de ratas alimentadas con las dietas de prueba.

- Mezcla de dietas irradiadas: Como existe la posibilidad de que varios productos irradiados puedan ser consumidos al mismo tiempo, deben considerarse también las pruebas de comestibilidad a dietas conteniendo más de un producto irradiado.

Los estudios se llevaron a cabo con una dieta consistente principalmente de productos vegetales expuestos a radiación gamma, los productos irradiados eran el 82% del contenido calórico (Bromikova 1969). La dieta incluía frutas secas irradiadas con 300 krad, trigo, chícharos y maíz, cada uno irradiado con 100 krad y papas, cebollas y concentrados alimenticios irradiados con 10, 12 krad, respectivamente.

Los estudios de la función reproductiva en 4 generaciones de ratas y los exámenes del metabolismo de lípidos y carbohidratos,

morfología sanguínea y también propiedades mutagénicas de esta dieta, no demostraron efectos dañinos en los animales experimentales. (94)

También se han realizado pruebas de toxicidad y mutagénesis en formas menos evolucionadas de vida. Cualquier juicio de seguridad acerca de un alimento irradiado para el consumo humano, se basa en estudios en animales que involucran algún grado de extrapolación. El grado de confianza que dan estas pruebas sólo pueden mejorarse en pruebas que utilicen al hombre mismo como sujeto experimental. (11)

Se han observado efectos citotóxicos y mutaciones en células e insectos que han crecido en medios conteniendo componentes irradiados. Puede criticarse la extrapolación de resultados obtenidos en mamíferos, al hombre, por tanto, la validez de los hallazgos en formas menos evolucionadas de vida debe estar bajo sospecha. (25)

Hostein, Sugiy y Steward, reportaron que los productos radiolíticos de los azúcares son dañinos a las células vegetales y capaces de inducir anomalías cromosómicas en *Vicia faba* y en *Tradescantia paludosa*.

Molin y Ehrenberg, encontraron evidencia de citotoxicidad en dextrosa irradiada en bacterias. (20)

En Gran Bretaña, Berry, Hills y Trillwood, usando células de

mamíferos en cultivo de tejidos, demostraron la presencia de un agente citotóxico en dextrosa y fructosa esterilizadas por irradiación. La dextrosa y fructosa esterilizadas en autoclave son también citotóxicas, pero el efecto es menos pronunciado en almacenamiento y las irradiadas mantienen su efecto citotóxico por más de seis meses. (20)

En 1957, Henderson, Baxter y Tuttle, observaron pequeñas diferencias entre medio de crecimiento irradiado y no irradiado, al estudiar cinco generaciones de *Drosophila* (mosca de la fruta), atribuyeron las diferencias observadas a un efecto nutricional más que a una manifestación tóxica y concluyeron que el efecto era cuestionable significado biológico. (88)

Swaminathan, Nirula, Natarajan y Sharm en India, y Rinehart y Ratty en los Estados Unidos, reportaron un incremento en las mutaciones en crecimiento de *Drosophila* en medios irradiados, lo que es contrario a los resultados de otro trabajo de la India: Reddi, Reddy, Ebenezaer y Rao, que no pudieron demostrar efectos genéticos bajo circunstancias similares.

En el Instituto de Genética Animal Edinburh, Chopra fué incapaz de demostrar efectos mutagénicos en *Drosophila* que creció en medios irradiados o cuando se adicionó DNA irradiado al medio de crecimiento.

Khan y Anderson del Departamento de Genética de la Universidad de Cambridge no pudieron demostrar que el DNA irradiado produce

incrementos significativos en mutaciones sobre el DNA no irradiado.(13)

Si se acepta que los resultados de estas pruebas pueden extrapolarse al hombre, hay graves implicaciones en la seguridad del alimento irradiado. Puede argumentarse que la estructura y composición de los cromosomas y células humanas son básicamente similares a aquellas de formas menos evolucionadas de vida o a células aisladas en cultivo de tejidos. Por otro lado, en el animal intacto o en el hombre, cualquier sustancia tóxica o mutagénica del alimento irradiado, debe absorberse por el tracto gastrointestinal y metabolizarse. Si se absorbiera una sustancia tóxica, esta debe ser bien detoxificada o rápidamente excretada del cuerpo antes de que sea absorbida en la suficiente concentración para causar un efecto tóxico. (76)

Hay reportes que indican la presencia de efectos mutagénicos en algunos productos irradiados como harina (Bugyjak et al 1968), jugos de frutas (Swaminathan 1963) y papas (Chopra 1963), que se han detectado en especies biológicas como Drosophila, bacterias, cultivo de tejidos y ratones, lo que ha hecho que organismos internacionales como FAO, IAEA y WHO (1970), recomendaran estas pruebas mutagénicas además de los análisis toxicológicos prescritos para que se incluyan en los protocolos de los estudios de comestibilidad. Los experimentos llevados a cabo con bacterias, plantas inferiores e insectos y cultivos de tejidos en contacto directo con el sustrato, no pueden ser el factor decisivo para decidir la inocuidad de los alimentos irradiados

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

como fué expresado por el panel FAO/IAEA/WHO en 1964 diciendo que la detección de cambios genéticos en *Drosophila* inducidos por alimentos irradiados, no puede necesariamente indicar qué efectos similares se encontrarían en humanos consumidores de alimento irradiado. Los mutágenos introducidos oralmente no necesariamente alcanzarían las células reproductivas de los mamíferos. (75)

Gran número de sustancias comúnmente halladas en los alimentos, han demostrado poseer actividad mutagénica cuando se han probado en formas de vida menos evolucionadas (animales y plantas. Aún el ácido acético, de importante papel como intermediario en el metabolismo, ha demostrado poseer débil actividad mutagénica bajo ciertas condiciones. (44)

En contraste al efecto reportado de materiales irradiados en plantas, bacterias y otras formas de vida, existe gran información de estudios de alimentación en animales que indican que los alimentos irradiados no son tóxicos.

En la Gran Bretaña, varios miles de ratas y ratones han sido alimentados con comida irradiada toda su vida sin efecto adverso. Con trigo irradiado, 4 generaciones sucesivas de ratas fueron estudiadas sin evidencia de toxicidad. (46)

En estas circunstancias, es difícil aceptar que los efectos observados usando simples sistemas de prueba, sean de significancia biológica para el hombre.

El ejército de los Estados Unidos ha emprendido la ejecución de un amplio programa encaminado a dilucidar una serie de cuestiones suscitadas por el empleo de las radiaciones ionizantes para la conservación de los alimentos.

Concluidos los prolongados estudios sobre el consumo de estos alimentos por animales, se ha demostrado que los alimentos irradiados son tan comestibles y tan aceptables en general, como los tratados por procedimientos clásicos. Los datos se han obtenido con la colaboración de más de 30 laboratorios de instituciones docentes, empresas comerciales y organismos oficiales, y comprenden los resultados de estudios sobre el consumo de 21 productos alimenticios irradiados (carne, pescado, frutas y verduras), por más de 15,000 ratones, 5,000 ratas de la misma progent, 300 perros y 37 monos. En general, los alimentos utilizados para este estudio, recibieron dosis de 2.79 a 5.58 Mrad obtenidas por medio de combustible nuclear agotado, cobalto -60 o fuentes de electrones de 10 MeV; mas altas que las comúnmente empleadas en radurización y radicación. Antes de darlos a los animales se almacenaron durante tres meses a la temperatura ambiente. Los alimentos no irradiados utilizados como testigo, se mantuvieron congelados hasta el momento de su consumo durante dos años se administraron dietas con el 35% (en peso seco) de alimentos irradiados a dos especies diferentes. Se estudiaron el crecimiento, la reproducción, la lactación, la hematología, la longevidad, la histopatología y la carcinogénesis. Para examinar más a fondo este último punto durante dos años se administra

ron dietas a ratones con el 100% de alimentos irradiados. También se estudió la radiactividad inducida, la estabilidad y suficiencia de las sustancias nutritivas, etc. (76)

Los puntos a considerar al evaluar los resultados reportados de carcinogénesis son los siguientes:

- El tiempo o lapso de observación.
- Dosis empleada
- Número de animales por grupo.

Es fácil obtener resultados negativos cuando se usan en la investigación pocos animales o el tiempo de observación es demasiado corto, o sea, protocolos inadecuados.

Esto enfatiza la necesidad de un consumo estadístico antes de comenzar un experimento.

El número de animales necesitados para producir confiabilidad estadística en pruebas de carcinogénesis es mayor de lo que muchos investigadores utilizan. (76)

En la Junta del Comité Experto de FAO/IAEA/WHO sobre la Comestibilidad de los Alimentos Irradiados realizada en 1980, basados en los estudios realizados durante más de dos décadas, se llegó a la conclusión de que los alimentos irradiados hasta dosis no mayores a 1 Mrad son absolutamente seguros para el consumo humano. (76)

CAPITULO IV
APLICACIONES DE LA RADIACION IONIZANTE EN LA
PRESERVACION DE LOS ALIMENTOS

CAPITULO IV

APLICACIONES DE LA RADIACION IONIZANTE EN LA PRESERVACION DE LOS ALIMENTOS.

Se pierden enormes cantidades de alimentos cada año debido a la acción de ratas, insectos y hongos. Esto ocurre entre el tiempo de cosecha y el de consumo por la falta de un almacenamiento y distribución adecuados.

Se ha estimado que el mundo aumentaría sus reserva de alimentos en un 25 a 30% si las pérdidas posteriores a las cosechas se evitaran. (41)

Una de las razones principales para la descomposición de los alimentos es la acción de los microorganismos que rompen o degradan las moléculas de éstos. Los rayos gamma matan o reducen el número de los microorganismos presentes en los alimentos. (87)

Las aplicaciones de la irradiación de los alimentos pueden clasificarse según los siguientes límites de dosis:

- 1.- 10-20 krad: Para inhibir brotes de tubérculos.
- 2.- 50-100 krad: Para eliminar insectos y parásitos en carnes, cereales y frutas.
- 3.- 25-200 krad: Para retardar la descomposición de los alimentos perecederos.
- 4.- 1 Mrad: Destrucción de microorganismos patógenos como *Salmonella*

5.- 2.5 Mrad: Esterilización industrial.

Las aplicaciones de la irradiación gamma en los alimentos pueden desglosarse en los siguientes puntos:

- 1.- Inhibición de brotes y raíces en tubérculos.
- 2.- Desinfestación y destrucción de parásitos.
- 3.- Aumento del período de anaquel de frutas y vegetales.
- 4.- Esterilización de alimentos envasados.
- 5.- Mejoramiento de semillas y plantas.
- 6.- Descontaminación de alimentos para animales.
- 7.- Otras aplicaciones. (85)

1.- Inhibición de brotes y raíces en tubérculos.

La radiación gamma inhibe la germinación natural de cualquier tipo de vegetal bulboso. Papas y cebollas, de gran importancia en países en desarrollo, normalmente se conservan sólo pocos meses. Irradiándolas y almacenándolas en un lugar fresco y seco, pueden conservarse de una estación de cosecha hasta la siguiente. Numerosos experimentos han demostrado que la irradiación es el único proceso industrial para inhibir la germinación a largo plazo.

Para inhibir la germinación se requieren dosis de 3 a 15 krads.

(9)

Entre los estudios que se han realizado en el mundo sobre esta importante aplicación de las radiaciones ionizantes pueden citarse

Los siguientes:

(1) En el Center of Research and for Application of radioisotopes en Teherán, Irán, se realizó un estudio con tres variedades de papas a las que se aplicaron dosis de 5, 10, 12 y 15 krad. y con una variedad de cebolla a la que se aplicaron dosis de 3, 6 y 9 krad.

Se probaron combinaciones de tratamientos con diferentes dosis de radiación y con varias concentraciones de ácido salicílico: 500, 1,500 y 255 ppm. Las dosis de 12-15 krad probaron ser efectivas para inhibir la germinación, putrefacción y deshidratación y así evitar considerables pérdidas. Esto se observó en las tres variedades de papa después de 9 meses de almacenamiento. El tratamiento químico aplicado sin irradiación probó ser inefectivo. (74)

(2) En el Central Food Research Institute de Budapest, Hungría, se realizó un estudio con el objeto de detectar el final del período de latencia e investigar los efectos de la radiación gamma con dosis de 5 krad. para ésto, se estudió periódicamente durante el almacenamiento a 0-4° C., el tamaño de los brotes, el contenido de vitamina C y el total de azúcares reductores y no reductores, de bulbos de cebollas variedad Makó.

El contenido de vitamina C es mayor en los brotes que en todo el bulbo. Durante el período de latencia hay un incremento en la cantidad de azúcares reductores y no reductores.

La irradiación de las cebollas durante la latencia produce una inhibición más fuerte de los brotes que al irradiar en el período no latente.

Los brotes internos de las cebollas irradiadas fuera del período de latencia produce oscurecimiento durante el almacenamiento post-irradiación.

Las diferentes composiciones encontradas en las cebollas irradiadas y las no tratadas no parecen tener significancia nutricional. Los radicales libres que se forman por la irradiación tienden a desaparecer. (52)

(3) Según un estudio, la República Federal de Alemania importa el 97% de las cebollas para el consumo humano, las cuales se distribuyen inmediatamente para su venta. El objetivo del estudio fue conocer mejor la calidad de las cebollas importadas y los parámetros que influyen ésta. Se irradiaron 7 diferentes variedades de cebollas crecidas en RFA con electrones de 10 MeV a dosis de 5-10 krads y se almacenaron a temperaturas de 4, 9, 10 y 20°C. Las propiedades físicas, químicas y sensoriales fueron evaluadas estadísticamente después de 8 y 10 meses de almacenamiento. Se demostró que las dosis de 5 krads son suficientes para inhibir los brotes en todas las variedades independientemente de las condiciones de almacenamiento, si la irradiación se aplica dentro de las cuatro semanas siguientes a la cosecha. (43)

(4) Se realizó una investigación en Filipinas sobre el uso de la irradiación gamma para extender la vida de anaquel o período de almacenamiento comercial de las cebollas.

Se aplicaron dosis de 3-10 krads para inhibir los brotes en las cebollas de la variedad Yellow Grannex en almacenamiento refrigerado. Se encontró como efecto benéfico colateral la disminución en el crecimiento de mohos y también en la pérdida de peso durante el almacenamiento.

La irradiación parece predisponer a los bulbos a deteriorarse pero el principio y progreso de este defecto ocurre cuando los bulbos han alcanzado el máximo de su vida de almacenamiento. (78)

(5) Para confirmar la viabilidad tecnológica de la irradiación de papas se llevó a cabo un estudio en Italia en los años 1975-76. La irradiación se aplicó en cajas de 500 kg. usando una plataforma rotatoria a 11.7 krads. En 1976 fueron puestas al mercado 15 toneladas de papas irradiadas en Italia. También se pusieron al mercado papas sometidas a irradiación y posterior almacenamiento de dos meses. En encuestas realizadas a los consumidores se encontró que la mayoría prefiere las papas irradiadas por su calidad. (10)

(6) En la India se efectuaron estudios sobre algunos aspectos químicos de la irradiación gamma de cebolla roja.

Las dosis de radiación de 6-15 krad previenen efectivamente.

la germinación en la cebolla irradiada después de un corto período posterior a la cosecha. Los estudios convencionales de comestibilidad son difíciles de realizar porque los animales experimentales no aceptan la cebolla en su dieta, aún sin irradiar. Por lo tanto, en este estudio se analizaron los cambios químicos (si existen), en la cebolla después de un período de almacenamiento. Se estudió la cebolla "red globe" irradiada a dosis de 6, 10, 20, 50 krad y almacenada a temperatura ambiente (25-30°C.), por tres meses, junto con un control no irradiado. El estudio comparativo de los componentes volátiles y no volátiles del control y las muestras irradiadas llevados a cabo por cromatografía gas-líquido, capa fina y espectroscopía infrarroja sugieren que no hay cambios en las cebollas irradiadas aún a 50 krads, con respecto a los parámetros estudiados. (62).

(7) Las papas y las cebollas son ampliamente cultivadas en Egipto y están entre las más importantes cosechas de vegetales. Las condiciones de refrigeración durante el almacenamiento son insuficientes, por lo tanto, se produce la germinación, deshidratación e infestación de las cosechas por los insectos.

Se utilizó un tratamiento combinado de irradiación con ácido salicílico para evitar los efectos organolépticos indeseables producidos por dosis altas de irradiación. Se obtiene mayor capacidad para el almacenamiento y la dosis de irradiación es tan baja, como la mitad de la dosis aprobada internacionalmente para la irradiación comercial.

(77)

(8) La irradiación a 6-9 krad's inhibe la germinación durante el almacenamiento sólo si el tratamiento de irradiación se lleva a cabo cuando los bulbos se encuentran en su estado más profundo de letargo. Dosis de 10 krad's inhiben la germinación de las papas y también eliminan los huevos y las etapas larvarias tempranas de la polilla de la papa. La susceptibilidad de las papas irradiadas a la putrefacción puede reducirse si se almacenan a temperaturas de 15-20°C. (67)

2.- Desinfestación y destrucción de parásitos.

La radiación a dosis bajas puede desinfestar frutas y vegetales, trigo y otros cereales destruyendo todos los insectos, huevos de insectos u hongos que están contaminando los alimentos.

La desinfestación química, ahora en uso, destruye los insectos pero no sus huevos, que posteriormente se convierten en insectos que vuelven a dañar el grano. (En Estados Unidos la Agencia de Protección Ambiental y la FDA junto con el Departamento de Agricultura, concluyeron que los fumigantes químicos y esterilizantes tienen efectos dañinos en humanos). (5)

La desinfestación de insectos requiere dosis de 40 krad.

Los daños por radiación son 100 veces menores que con fumigantes químicos. (4)

Los tratamientos de cuarentena son ampliamente usados para frutas y vegetales que se ponen a la venta entre naciones. Hasta que las plagas puedan erradicarse de las regiones infestadas, los productos de estas regiones deben tratarse por métodos internacionalmente aceptados antes de exportarse a áreas libres de plagas. Estos tratamientos deben ser biológicamente seguros, no reducir la calidad del producto y ser económicos. (5)

La seguridad biológica de los fumigantes orgánicos actuales es cuestionable.

Todas las frutas que se comercian internacionalmente pueden irradiarse a dosis que controlan las más importantes plagas como la mosca de la fruta. La irradiación requiere un corto período de tratamiento, no quedan residuos como en el caso de los fumigantes químicos, por lo que no se requiere ventilación posterior al tratamiento, lo que reduce el intervalo entre la cosecha y los embarques en más de un día. (28)

El tratamiento del producto dentro de su empaque, reduce la oportunidad de la reinfección, lo que da una mayor seguridad. El período de mercado puede alargarse en varios días.

También puede usarse contra el gorgojo de la semilla del mango, tratamiento que se investiga en Sudáfrica y consiste en blanqueado para detener mohos y aplicación de una dosis de 75 krad en lugar

de cuarentena lo que extiende la vida de anaquel. (55)

La radiación gamma es un método eficiente para la desinfestación de insectos en el pescado seco y ahumado. Dosis de 200 krad matan el 99% de las larvas y 20 krad las inactivan y evitan que las larvas de cualquier especie de mosca se conviertan en adultos.

En ciertos casos, la aplicación combinada de preservativos inobjetales toxicológicamente como sorbato y radiación gamma, extenderán considerablemente la vida de anaquel de algunos artículos permitiendo que se distribuyan más ampliamente.

Por otra parte, la esterilización de machos de insectos, está probando ser una efectiva técnica de control y permite la reducción en la cantidad de insecticida requerido. (4)

Entre algunos de los estudios efectuados en esta rama de la preservación de alimentos por irradiación pueden citarse los siguientes:

(1) P.M. Nair y colaboradores, realizaron estudios en la India con cinco variedades diferentes de mangos y concluyeron que la aplicación de dosis bajas (25 a 35 krad), extiende la vida de anaquel retardando el deterioro sin afectar la calidad de los principales constituyentes químicos de la fruta. El empardecimiento de las frutas que reciben tratamientos de dosis mayores se atribuye a la activación de la polifenol oxidasa. (67)

(2) P.B. Cornwell, realizó un estudio en 1966 sobre el empleo de las radiaciones ionizantes en la lucha contra los insectos que atacan los alimentos almacenados. El estudio de las propiedades químicas y físicas de los granos sometidos a las dosis de radiaciones que la desinfección requiere, no muestra ningún efecto adverso sobre las propiedades organolépticas u otras de importancia para la futura utilización. Los trabajos sobre la comestibilidad de los granos irradiados indican que éstos no pierden propiedades nutritivas. (16)

(3) En Indonesia, se realizó una investigación en relación con la preservación de arroz con radiación gamma. Los efectos de la radiación sobre cuatro especies de insectos comúnmente encontrados en el grano de arroz almacenado, se estudiaron con el fin de encontrar las dosis letales y de esterilización. Como los daños ocasionados al arroz almacenado son causados por estos insectos en su etapa de inmadurez, éste se puede prevenir esterilizando a los adultos y se considera que la dosis más alta de esterilización a los insectos es suficiente como dosis de desinfección. (47)

J.- Aumento del período de anaquel de frutas y vegetales:

La irradiación puede utilizarse para extender la vida de anaquel de muchas frutas frescas controlando su período de maduración. En el presente, es necesario cosechar la fruta verde para poderla transportar y vender antes de que se sobremadure. Pero la maduración es frecuentemente tan rápida que el área de mercado se limita aún cuando se utilice

refrigeración para retardar la maduración. Este es el caso de muchas frutas tropicales y subtropicales que tienen mercados de exportación potenciales que en el presente no pueden alcanzar. (75)

Una baja dosis de radiación aplicada a ciertas frutas extiende su presente vida de anaquel de una semana a 10 días retardando el proceso de maduración. Por ejemplo, estudios realizados en Tailandia muestran que el mango de cierta variedad irradiado a dosis de 40 krad y almacenado a una temperatura de 21°C. muestra un 100% de maduración después de 36 días comparado a 20 días para el control no tratado y almacenado a la misma temperatura. Esta extensión de 16 días en la vida de anaquel permite el embarco de la fruta hacia mercados más distantes. (3)

También experimentos realizados con una variedad hawaiana de papaya demuestran que dosis de radiación de 50 krad extienden el período de anaquel. (28)

El control de enfermedades de la fruta por medio de radiación es generalmente difícil, los organismos que causan la putrefacción y deterioración, sólo pueden controlarse por dosis de radiación que se encuentren a niveles muy por encima o cercanos a aquellos de tolerancia de los tejidos de las frutas. En algunos casos el desarrollo de estos organismos puede retardarse por medio de la irradiación. Por ejemplo, las fresas frescas durante el almacenamiento desarrollan un moho algodonoso blanco (*Botrytis cinerea*), que suaviza los tejidos. Si

se aplican dosis de 200 krad se previenen las pequeñas lesiones y se retarda la aparición de lesiones más grandes. La vida de anaquel se extiende si se almacena a una temperatura de 5°C. o menor. (75)

Entre los estudios realizados sobre este aspecto, se cuentan los siguientes:

(1) La irradiación ofrece especial interés como tratamiento fungicida por su efecto terapéutico. La sensibilidad del portador suele limitar considerablemente la dosis. La tolerancia a las radiaciones es distinta de una especie a otra y depende del grado de madurez en el momento de la irradiación. Si los productos vegetales han de ser almacenados, la dosis que se les administra suele ser baja, debido a los efectos nocivos retardados. La eliminación de un agente patógeno depende sobre todo de su sensibilidad y de la magnitud de las lesiones. Corrientemente se inactiva la mayor parte de las lesiones causadas por hongos, mientras que se retarda el desarrollo de otras. Los tratamientos por radiaciones han sido más efectivos cuando las lesiones presentan mayor gravedad como, en el caso de los productos altamente perecederos que se cosechan en estado de madurez y presentan lesiones patológicas caracterizadas en el momento de la recolección. Favorables perspectivas ofrece la combinación de la irradiación y del tratamiento térmico, cuya acción conjunta, cuando se utilizan para inactivar hongos es sumamente eficaz. Las radiaciones gamma inhiben la maduración de algunas frutas pero estimulan la de otras. (33).

(2) Según investigaciones realizadas, la putrefacción del pedúnculo y la podredumbre verde y córdena son las que causan mayores pérdidas por descomposición en los cítricos después de la recolección. No es posible administrar una sola dosis de irradiación que baste para proteger a los cítricos contra la descomposición. Para retardar infecciones antiguas o arraigadas se necesitan dosis de irradiación mayores que para retardar las infecciones incipientes.

Los cítricos sufren alteraciones metabólicas que terminan por provocar el envejecimiento. A raíz de la irradiación y almacenamiento del fruto, se observan a veces lesiones de la piel. La proporción de frutos que presentan estas lesiones y la gravedad de las mismas aumentan con la temperatura y la duración del almacenamiento. Las naranjas y las toronjas pueden irradiarse con dosis de hasta 200 krad sin que se aprecien efectos perjudiciales en sus propiedades organolépticas. (18)

(3) Se ha estudiado la conservación de mangos después de recubrir su piel con una emulsión a base de monoglúcido acetilado. Los frutos con la piel recubierta presentan lesiones de tipo fisiológico debidas a la inhibición excesiva de la respiración, lo cual es compensado por la intensificación de la actividad respiratoria que experimentan los frutos irradiados en atmósfera de aire o de nitrógeno. Se han estudiado guayabas, zapotes y tomates, en todos los cuales se ha conseguido retrasar la maduración en unos 5 días administrando dosis de 20 a 25 krad. En los frutos tales como chiles, plátanos y naranjas,

ésta es ligeramente estimulada. Los plátanos semidesecados (40% de humedad) irradiados con 0.5 Mrad se conservan en buenas condiciones durante tres meses, por lo menos, mientras que los frutos deshidratados (10% de humedad), además de ser muy propensos a la infección por mohos, poseen mediocres condiciones de color, sabor, retención de elementos nutritivos y reconstitución. (3)

(4) En una investigación realizada en el Centro de Estudios Nucleares de Ciudad Universitaria, UNAM, se efectuó una evaluación de los cambios químicos y físicos que se presentan durante el almacenamiento postirradiación del jitomate variedad "bola". Los jitomates se eligieron en estado de madurez y tamaño uniformes en cuatro series de 100 muestras divididas en cinco grupos de 20 cada uno, cuatro de los cuales se irradiaron a los niveles de dosis de 350, 400, 450 y 500 krads, con una razón de dosis de 95 R/s. El grupo restante se utilizó como testigo. Se almacenaron durante cinco semanas, en cámaras aisladas del medio ambiente a $18 \pm 1^{\circ}\text{C}$. y humedad relativa de $55 \pm 5\%$. Los parámetros estudiados fueron: ácido ascórbico, beta caroteno, acidez total titulable, azúcares reductores directos y totales, pH, pérdida de peso, índice de descomposición, madurez por color y radiactividad inducida. De los resultados obtenidos se infieren los siguientes cambios inducidos por la radiación gamma: a) En los azúcares reductores directos, beta caroteno, madurez y pH, son significativos; c) no se encontró evidencia de la inducción de actividad; d) disminuyó el daño causado por la infección microbiana.

Se concluyó así que el efecto de la irradiación favorece la preservación y aunque hay ciertos cambios en algunos componentes, no son tan marcados como en el efecto del tiempo de almacenamiento, durante la maduración de los jitomates, los cuales cambiaron desde su coloración ligeramente verde, hasta su maduración completa, en la que adquirieron su color rojo característico. Se eligió como dosis mínima óptima la de 400 krad, por ser el nivel en que los jitomates presentaron mejores condiciones físicas durante los 30 días de observación. (17)

Según un estudio realizado por el Departamento de Agricultura de Hawaii, el tratamiento comercial recomendado para frutas sigue la siguiente secuencia: 1) Lavado con agua caliente a 60°C. durante 20 seg., 2) Secado durante 20 seg.; 3) Clasificar según tamaño; 4) empacar 5 kg. de peso neto en cajas de madera; 5) Sellar las cajas con cinta para asegurar el contenido contra insectos; 6) Tratamiento con radiación gamma a la dosis de absorción mínima aprobada (mayor de 25 krad); 7) Cargar para su transporte o almacenamiento a 10±4°C. (28)

(6) Investigaciones sobre el tratamiento por irradiación de frutas subtropicales se llevó a cabo por varias estaciones en Sudáfrica. En el caso de la irradiación de mangos, la combinación con agua caliente o tratamiento fungicida, hace posible el transporte de las frutas a Europa por mar, con la ventaja adicional de que se retarda la madura-

ción, y también se consigue una marcada mejoría en la distribución de la fruta a nivel nacional. También se han obtenido resultados prometedores en papayas con respecto al control de enfermedades y el retardo del envejecimiento. Con respecto al aguacate una dosis muy reducida con un tratamiento de calor produce un retardo en la maduración sin efectos adversos significativos, lo que resulta en una extensión de varios días en la vida de anaquel. (12)

(7) Los microorganismos que causan el deterioro de los plátanos variedad Cavendish y los mangos variedad Carabao, se aislaron de cultivos de tejidos de las frutas deterioradas y se determinó su patogenicidad inoculando los organismos a frutas sanas.

Los plátanos expuestos a dosis de radiación en rangos de 5 a 37 krad desarrollaron emparecimiento de la piel, suavizamiento de la textura y una aceleración en el deterioro a medida que se incrementa la dosis. Dosis de 16 a 28 krad aplicadas a los mangos retardan la velocidad de aparición de los microorganismos que causan deterioro y no tienen efectos adversos en la apariencia general de la fruta..

(3)

4.- Esterilización de alimentos envasados.

El método de esterilización por radiación es más eficiente en alimentos animales porque éstos han demostrado ser más nutritivos que los esterilizados por tratamientos térmicos.

Dosis aproximadas de 5 kGy matan microorganismos patógenos no esporulados como: Salmonella, Vibrio parahaemolyticus, Staphylococcus aureus, etc., que son los principales causantes de la descomposición o de enfermedades causadas por los alimentos. (7)

La contaminación microbiana, por ejemplo, por esporas termorresistentes en especies y sazónadores mezclados, puede reducirse por irradiación. (54)

Estas esporas causan problemas en el enlatado de derivados de la carne por su presencia en especies contaminadas, lo que hace necesario aplicar a la carne un tratamiento por calor, lo que da un producto menos aceptable organolépticamente. (54)

En los Laboratorios Natick de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos, se han desarrollado productos estables en almacenamiento como carne de alta calidad, aves, pescado, combinando aditivos convencionales, tratamientos con calor moderado, e irradiación en estado congelado.

Después de irradiar a dosis de esterilización, estos alimentos pueden almacenarse sin refrigerar durante años.

La radiación puede aplicarse a cualquier tipo de material de empaque, lo que no es el caso del procesado por calor, por lo tanto, la radiación puede aplicarse si se desea, después de empaquetado como una etapa final del proceso. (55)

En Holanda, los cartones de leche y crema se hacen libres de bacterias por medio de radiación gamma, antes de ser llenados con leche esterilizada para alargar la vida de anaquel.

El alimento puede tratarse en estado natural con un mínimo incremento en la temperatura, esto es importante porque los hábitos alimenticios en muchos países requieren alimentos disponibles en su forma natural.

El alimento puede tratarse en estado natural con un mínimo incremento en la temperatura, esto es importante porque los hábitos alimenticios en muchos países requieren alimentos disponibles en su forma natural.

La irradiación puede ayudar a la cadena alimenticia en muchas etapas desde la germinación inicial de la semilla, hasta la preparación final del alimento. (70)

(1) Combinando adecuadamente el tratamiento térmico y la irradiación, se ha conseguido esterilizar mangos, guayabas, zapotes y manzanas, así se han obtenido en general productos enlatados de mejor textura, sabor y retención de propiedades nutritivas sometiendo durante 10 minutos a 70°C. y 400 krad. Análogamente se obtienen chícharos enlatados de excelente calidad sometiendo a 800 krad y a 100°C. durante 5 minutos.

El jugo de naranja se puede esterilizar por tratamiento combinado 400 krad y tratamiento por calor consecutivo a 50°C. durante 15 minutos..

(90)

5.- Mejoramiento de semillas y plantas.

La irradiación puede inducir efectos en semillas para producir diferentes variedades con un incremento en su rendimiento y con tiempo de germinación reducidos.

Se ha conseguido la obtención de variedades "mejoradas" de chícharos de forraje y cebada en Suecia, arroz mejorado en China, trigo mejorado en la India, URSS y Japón, mejores variedades de habichuela, cacahuete y avena en los Estados Unidos, frijol en Alemania, etc. En el año de 1968, ya se conocían 77 nuevas variedades mutante en plantas todas en uso cotidiano. (29)

6.- Descontaminación de alimentos para animales.

La mejor fuente de proteínas para el hombre es indudablemente de origen animal. Pero también por medio de la carne, ya sea de bovino y principalmente de aves, se pueden adquirir graves enfermedades como la salmonelosis por ejemplo. A su vez, los animales adquieren los microorganismos causantes de estas enfermedades a través del alimento, por lo que, la descontaminación de alimentos para animales, por irradiación gamma, es una importante aplicación de este procedimiento (59)

(1) J.H. Adler, et al, de la Universidad Hebrea de Jerusalem, - -

realizó investigaciones sobre el tratamiento de alimentos para animales con radiaciones ionizantes. Las aves son la principal fuente local de carne, y frecuentemente están contaminadas con Salmonella, siendo la principal fuente de contaminación el alimento para animales infectado con este microorganismo. La radiación gamma a dosis mayores de 1 Mrad reduce las poblaciones de salmonella en el alimento de 6 a 7 logs.

Dos hatos, de 300 gallinas y 50 gallos cada uno, se colocaron en gallineros diferentes. Uno de ellos se alimentó con alimento no tratado, mientras que el alimento del otro fué radicado a 1 Mrad. de lo que resultó un nivel de menos de 10 enteras bacterias por gramo. Los hatos se estudiaron durante un periodo de 12 meses, a partir de la salida de los pollos al final de los seis meses de la producción de huevos. En las primeras ocho semanas, cuando el alimento se administró libremente, no se notaron diferencias en la utilización de éste ni en el crecimiento. Después de que empezó a limitarse la cantidad de alimento, no se observaron diferencias significativas en la utilización de éste ni en el total de alimento consumido. El número de huevos fértiles, el alimento consumido por huevo, la edad en que se puso el primer huevo, la mortalidad y el peso total después de 22 semanas y 12 1/4 meses fué prácticamente equivalente en ambos hatos. Los pollos obtenidos de los dos hatos no mostraron diferencias significativas en su peso o en la utilización de alimento. (1)

(2) La contaminación por salmonella en los animales de granja, principalmente aves, se incrementó notablemente en Israel, por lo que las regulaciones de las autoridades tendieron a rechazar los lotes de animales en que se encontrara dicho microorganismo y a requerir a los criadores de animales a comprar solamente animales completamente libres de esta contaminación, por lo que la opción de la radicación, ya sea con electrones o con rayos gamma, se volvió muy favorecida. (59)

7.- Otras aplicaciones.

Otras aplicaciones relativamente recientes son:

- Esterilización de especies y aditivos para alimentos.
- Esterilización de dietas especiales para enfermos hospitalizados
- Esterilización de carne previa inactivación de enzima.
- Preservación de quesos.
- Reducción del tiempo necesario para la rehidratación de verduras y hortalizas.
- Mejora el olor de aceites esenciales.
- Aceleración del proceso de envejecimiento (añejado), de bebidas alcohólicas.
- Aumento del contenido de proteínas en plantas. (63)

CUADRO NO. 1

| ALIMENTO | DOSIS kGy | FINALIDAD |
|---|-----------|--------------------------------------|
| Papas | 0.1 | Inhibiría germinación |
| Cebolla | 0.1 | Inhibir la germinación |
| Ajos | 0.1 | Inhibir la germinación |
| Granos | 0.3 | Desinfestación |
| Alimentos deshidra- tados congelados | 1 | Desinfestación |
| Frutas deshidratadas | 1 | Desinfestación |
| Frutas frescas | 2.5 | Radurización |
| Trigo | 0.75 | Desinfestación |
| Harina de trigo | 0.75 | Desinfestación |
| Harina Integral de trigo | 0.75 | Desinfestación |
| Aves | 7 | Radiciación (Salmonella) |
| Bacalao (filetes) | 1-1.5 | Radurización |
| Hongos | 2 | Inhibición crecimiento microbiano |
| Refrigerios congelados | 25-45 | Radapertización |
| Fresas | 0.05 | Radurización |
| Especies mezcladas* | 5 | Radiciación |
| Ingredientes deshidratados mezclados para picadillo de carne enlatado** | 2 | Radurización |
| Espárragos | 2 | Radurización |
| Cacao | 0.7 | Desinfestación |
| Camarones | 0.5-1 | Radurización |

CAPITULO V

ESTADO ACTUAL Y FUTURO DE LA IRRADIACION DE ALIMENTOS

CAPITULO V

ESTADO ACTUAL Y FUTURO DE LA IRRADIACION DE ALIMENTOS

La irradiación de alimentos lleva aproximadamente 35 años de investigación. En los años cincuentas se mostró mucho interés por la irradiación de alimentos como una alternativa a las tecnologías tradicionales practicadas en los países desarrollados, y en los países en desarrollo, ofrecía la oportunidad de reducir las pérdidas de alimentos por infestación, descomposición o germinación. (7)

De ahí se deriva el estudio exhaustivo de la irradiación de alimentos por varios países, enfocado a la inocuidad de los alimentos irradiados y la viabilidad del proceso a nivel piloto y comercial.

En principio, las autoridades nacionales de los países avanzados, tuvieron una actitud extremadamente precavida hacia la aprobación del proceso de irradiación de alimentos para la venta y distribución general. Los países en desarrollo no contaban con los recursos disponibles para obtener la evidencia incontrovertible de la seguridad del consumidor respecto a los alimentos irradiados, a pesar de que en ellos sería particularmente útil. (58)

En 1956 en Canadá, Ken Mac Queen investiga los efectos de la irradiación de los alimentos como vegetales y encuentra que es un potente inhibidor de la germinación.

A principios de los sesentas, la ONU establece el Joint Expert Committee on Food Irradiation, que se ha reunido en 1964, 1969, 1976 y 1980 y cuyas recomendaciones se asentaron en el Codex Alimentarius Commission. Tiene 120 países miembros, y su objetivo es establecer un tratado internacional y estándares de calidad e inocuidad para alimentos irradiados. (37)

En 1970 se establece el International Project in the Field of Food Irradiation debido al alto costo de las investigaciones sobre irradiación de alimentos que por esta razón sólo se efectuaban en los Estados Unidos. Durante la década de los sesentas el interés mundial se encontraba enfocado a la aprobación y legislación de alimentos por organizaciones nacionales e internacionales o por autoridades nacionales en varios países, por lo que se da poca publicidad a la irradiación de alimentos. (37)

En el cuadro No. 1 se pueden observar en orden cronológico las diversas asociaciones que han surgido con objeto de lograr la aprobación y legislación del proceso de irradiación de alimentos. (37)

En 1976, en la Reunión del FAO/IAEA/WHO Expert Committee on the Wholesomeness of Irradiated Food, se declara el proceso de irradiación de alimentos, un proceso físico comparable a la aplicación de calor o a la congelación para la preservación de alimentos.

Lo anterior provoca una reacción favorable en varios países hacia-

La irradiación de alimentos. En el cuadro No. 2 puede observarse los diferentes alimentos irradiados que fueron autorizados para el consumo humano en diferentes países a partir de 1976. (37)

Como consecuencia, con ayuda del International Project, se desarrolla el Codex Alimentarius Standard para 8 alimentos irradiados y el International Code of Practice for the Operation of Irradiation Facilities for Irradiated Food.

En 1979, IAEA publica sus Model Regulations con sugerencias concretas para el control de plantas de irradiación de alimentos y para el comercio de alimentos irradiados. (57)

En el cuadro No. 3 se enlistan las instituciones que llevaron a cabo proyectos de investigación de 1975 a 1980, con objeto de determinar la viabilidad del proceso de irradiación y la inocuidad de las muestras de alimentos. (38)

En 1980 se convoca otra Reunión del FAO/IAEA/WHO Expert Committee on the Wholesomeness of Irradiated Food, el cual recomendó la aceptabilidad toxicológica de cualquier artículo alimenticio irradiado a dosis totales de hasta 1 Mrad (10 kGy), y establece que no es necesario realizar pruebas toxicológicas a los alimentos así tratados. Se consideró además, que a estas dosis de tratamiento no se crean problemas microbiológicos o nutricionales especiales en los alimentos así tratados. (36)

En 1978 la FAO conjuntamente con el IAEA y el Ministerio de Agricultura y Pesca de Holanda establecen el IFFIT (International Facility for Food Irradiation Technology), localizado en una planta piloto en la Ciudad de Wageningen en Holanda, la cual ofrece entrenamiento en el campo de la irradiación de alimentos a científicos de países en desarrollo. (23)

A partir de 1981, el programa de investigaciones se enfoca hacia la viabilidad tecnológica y económica del proceso de irradiación de alimentos, para su aplicación a nivel piloto y comercial en países en desarrollo. Se atiende también a factores que influyen la utilización del proceso, como por ejemplo:

- 1.- Los problemas económicos de las plantas de irradiación cuando sólo se utilizan por períodos cortos o estaciones.
- 2.- Estudios socioeconómicos para la introducción de alimentos irradiados en el mercado y comercio internacional.
- 3.- La estandarización y los procesos legislativos de la irradiación de alimentos a nivel gobiernos nacionales en los diversos países.
- 4.- El entrenamiento apropiado de científicos, técnicos y administradores en los campos tecnológico, económico, de salud pública, legislación y comercialización del proceso de irradiación alimentos. (41)

Otro factor que se considera que favorecerá la futura aplicación a nivel comercial del proceso de irradiación de alimentos, es la nueva política propuesta por la FDA estadounidense en 1980, que considera que todos los alimentos irradiados a dosis de 1 kGy o menores, son inocuos y seguros para el consumo humano. Se cree que tan pronto sea efectiva esta propuesta, la irradiación de alimentos se aplicará a escala industrial en los Estados Unidos, lo que tendrá un gran impacto a nivel mundial. (24)

En el cuadro No. 3 se puede apreciar en que año fueron autorizados por primera vez para el consumo humano diversos tipos de alimentos en diferentes países.

En el cuadro No. 4 pueden observarse las cantidades de alimentos irradiados, producidos y comercializados en diferentes países hasta el mes de julio de 1980. (81)

CUADRO No. 1: HACIA LA APROBACION INTERNACIONAL Y LEGISLACION DEL PROCESO DE IRRADIACION DE ALIMENTOS.

- 1969 - Junta FAO/IAE/WHO Expert Committee on the Wholesomeness of Irradiated Food.
- 1970 - Establecimiento del International Project in the Field of Food Irradiation.
- 1974 - Reunión de asesores de FAO/IAEA en aspectos microbiológicos de la irradiación de alimentos.
- 1975 - Junta FAO/IAE/WHO Expert Committee on the Wholesomeness of Irradiated Food.
- 1976 - Grupo Asesor FAO/IAEA en estandarización de la irradiación de alimentos.
- 1977 - Codex Committee on Food Additives (CXFA).
- 1977 - Grupo asesor FAO/IAEA/WHO sobre la aceptación internacional de los alimentos irradiados.
- 1978 - Codex Alimentarius Commission
- 1978 - Codex Committee on Food Additives.
- 1979 - Publicación de las Model Regulations for Control of an Trade in Irradiated Food.
- 1979 - Codex Alimentarius on Food Additives.
- 1979 - Codex Alimentarius Commission.
- 1980 - Publicación del Recommended General Standard for Irradiated Food.
- 1980 - Junta FAO/IAEA/WHO Expert Committee on the Wholesomeness of Irradiated Food.
- 1980 - Codex Committee on Food Additives.
- 1981-1983 - FAO/IAEA Regional Seminar Programme on Implementation of Food Irradiation.

CUADRO No. 2: INSTITUTOS DE INVESTIGACION QUE PARTICIPAN EN EL PROGRAMA DE INVESTIGACION COORDINADA SOBRE TECNOLOGIA E INOCUIDAD DE LOS ALIMENTOS IRRADIADOS.

| | |
|------------|---|
| BANGLADESH | Instituto de Investigación sobre Irradiación y Control de Plagas. |
| BELGICA | Centro de Energía Nuclear y Agricultura en Piracicaba. |
| BULGARIA: | Instituto de Investigación Tecnológica de Carne, en Sofía. |
| EGIPTO | Departamento de Protección de Plantas de la Universidad de Ain Shams, El Cairo. |
| GHANA | Comisión de Energía Atómica de Ghana, en Accra. |
| HUNGRIA | Instituto Central de Investigación en Alimentos, Budapest. |
| INDIA | Centro de Investigación Atómica Bhabha, Bombay. |
| INDONESIA | Centro de Investigación Pasar Jumat, Jakarta. |
| IRAK | Departamento de Biología del Instituto de Investigación Nuclear, Bagdad. |
| ISRAEL | Servicio de Protección ambiental, Jerusalén. |
| ITALIA | Centro de Estudios Nucleares de Cassaccia, Roma. |
| JAPON | Instituto Nacional de Investigación en Alimentos Yatabe, Tsukuba. |
| HOLANDA | Instituto de Ciencias Atómicas en Agricultura, Wageningen. |
| NIGERIA | Instituto Nigeriano de Investigación sobre productos almacenados, Ibadán. |
| FILIPINAS | División de Química del Centro Filipino de Investigación Atómica, Ciudad de Quezón. |
| FILIPINAS | Departamento de Procesado de Alimentos de la Terminal de Alimentos, Metro Manila. |
| SUDAFRICA | División de Química del Consejo de Energía Atómica, Pretoria. |

TAILANDIA Universidad Kasetsart, Bangkok.
URUGUAY Comisión Nacional de Energía Atómica, Montevideo
ESTADOS UNIDOS Departamento de Biología del Instituto Tecnológico
de Illinois, Chicago. (33)

CUADRO No. 3: AÑO EN QUE FUERON AUTORIZADOS PARA EL CONSUMO HUMANO DIVERSOS TIPOS DE ALIMENTOS IRRADIADOS.
(Los productos se agrupan de acuerdo al País).

| PAIS | PRODUCTO | PROPOSITO | TIPO DE APROBACION | DOSIIS kGy | AÑO |
|------------|-----------------------|--|--------------------|---------------|------|
| ARGENTINA | Papas | Inhibir la germinación | Provisional | mayor de 0.15 | 1978 |
| | Cebollas | Inhibir germinación | Pruebas de Mercado | rango de 0.05 | 1984 |
| | Ajos | Inhibir germinación | Prueb. de Mercado | rango de 0.05 | 1984 |
| AUSTRALIA | Camarones congelados | Descontaminación | Provisional | 6 - 8 | 1978 |
| BANGLADESH | Pollo | Descontaminación | Incondicional | mayor a 7 | 1983 |
| | Papaya | Desinfestar de insectos/control de maduración | Incondicional | mayor a 1 | 1983 |
| | Papas | Inhibir germinación | Incondicional | mayor a 0.15 | 1983 |
| | Trigo y sus productos | Desinfestar de insectos | Incondicional | mayor a 1 | 1983 |
| | Pescado | Alargar la vida de anaquel/Descontaminar/Desinfestar de insectos | Incondicional | mayor de 2.2 | 1983 |
| | Cebollas | Inhibir la germinación | Incondicional | Mayor de 0.15 | 1983 |
| | Arroz | Desinfestar de insectos | Incondicional | mayor de 1 | 1983 |
| | Ancas de rana | Descontaminación | Provisional | | |
| | Camarones | Alargar la vida de anaquel/descontaminación | Provisional | | |
| | Mangos | Alargar la vida de anaquel/desinfestar de insectos/control de maduración | Incondicional | mayor de 1 | 1983 |
| Especies | Descontaminación | Incondicional | mayor de 10 | 1983 | |
| BELGICA | Papas | Inhibir la germinación | Provisional | mayor de 0.15 | 1980 |
| | Fresas | Alargar la vida de anaquel | Provisional | mayor de 3 | 1980 |

| PAIS | PRODUCTO | PROPOSITO | TIPO DE APROBACION | DOSES kGy | AÑO |
|----------|--|---|----------------------|---------------|------|
| | Cebollas | Inhibir la germinación | Provisional | Mayor de 0,15 | 1980 |
| | Ajos | Inhibir germinación | Provisional | mayor de 0,15 | 1980 |
| | Chayotes | Inhibir germinación | Provisional | mayor de 0,15 | 1980 |
| | Pimienta blanca y negra | Descontaminación | Provisional | mayor de 10 | 1980 |
| | Paprika (polvo) | Descontaminación | Provisional | mayor de 10 | 1980 |
| | Goma arábica | Descontaminación | Provisional | mayor de 9 | 1983 |
| | Especies (78 productos) | Descontaminación | Provisional | mayor de 10 | 1983 |
| | Vegetales semi-deshidratados (7 productos) | Descontaminación | Provisional | mayor de 10 | 1983 |
| BRASIL | Arroz | Desinfestar de insectos | Incondicional | mayor de 1 | 1985 |
| | Papas | Inhibir germinación | Incondicional | mayor de 0,15 | 1985 |
| | Cebollas | Inhibir germinación | Incondicional | mayor de 0,15 | 1985 |
| | Frijoles | Desinfestar de insectos | Incondicional | mayor de 1 | 1985 |
| | Maíz | Desinfestar de insectos | Incondicional | mayor de 0,5 | 1985 |
| | Trigo | Desinfestar de insectos | Incondicional | mayor de 1 | 1985 |
| | Harina de trigo | Desinfestar de insectos | Incondicional | mayor de 1 | 1985 |
| | Especies (13 productos) | Descontaminación | Incondicional | mayor de 10 | 1985 |
| | Papaya | Desinfestar de insectos/Control de maduración | Incondicional | mayor de 1 | 1985 |
| | Fresas | Alargar la vida de anaquel | Incondicional | mayor de 3 | 1985 |
| | Pescado y productos marinos | Alargar la vida de anaquel | Incondicional | mayor de 2,2 | 1985 |
| | Aves | Alargar la vida de anaquel/Descontaminar | Incondicional | mayor de 7 | 1985 |
| BULGARIA | Papas | Inhibir germinación | Lot. experi- | mayor de 0,1 | 1972 |
| | Cebollas | Inhibir germinación | Lot. exp. | mayor de 0,1 | 1972 |
| | Ajos | Inhibir germinación | Lot. Exp. | mayor de 0,1 | 1972 |
| | Granos | Desinfestar de insectos | Lot. experimentales. | mayor de 0,3 | 1972 |

| PAIS | PRODUCTO | PROPOSITO | TIPO DE APROBACION | DOSIS (Gy) | AÑO |
|--------|---|---|--------------------------|---------------|--------------|
| | Alimentos deshidratados concentrados. | Desinfestar de insectos | Lts. Expmt's. | mayor de 1 | 1972 |
| | Frutas secas | Desinfestar de insectos | Lts. Expmt's. | mayor de 1 | 1972 |
| | Frutas frescas | Alargar la vida de anaquel | Lts. Expmt's. | mayor de 2.5 | 1972 |
| CANADA | Papas | Inhibir germinación | Incondicional | mayor de 0.1 | 1960 |
| | Cebollas | Inhibir germinación | Incondicional | mayor de 0.15 | 1963 |
| | Trigo y harina de trigo | Desinfestar de | Incondicional | mayor de 0.75 | 1969 |
| | Aves | Descontaminación | Pruebas de mercado | mayor de 7 | 1973 |
| | Filates de bacalao | Alargar la vida de anaquel | Pruebas de Incondicional | mayor de 1.5 | 1973 1984 |
| | Especies y algunos vegetales deshidratados. | Descontaminación | Incondicional | mayor de 10 | 1984 |
| CHILE | Papas | Inhibir germinación | Lts. Expmts. | mayor de 0.15 | 1974 |
| | Papaya | Desinfestar de insectos | Incondicional | mayor de 1 | 1982 |
| | Trigo y productos de trigo | Desinfestar de insectos | Incondicional | mayor de 1 | 1982 |
| | Fresas | Alargar la vida de anaquel | Incondicional | mayor de 3 | 1982 |
| | Pollo | Descontaminación | Incondicional | mayor de 7 | 1982 |
| | Cebolla | Inhibir germinación | Incondicional | mayor de 0.15 | 1982 |
| | Arroz | Desinfestar de insectos | Incondicional | mayor de 1 | 1982 |
| | Productos marinos | Descontaminación | Incondicional | mayor de 2.2 | 1982 |
| | Cacao | Descontaminación Desinfestar | Incondicional | mayor de 5 | 1982 |
| | Dátiles | Desinfestar de insectos | Incondicional | mayor de 1 | 1982 |
| | Hangos | Alargar la vida de anaquel/Desinfestar/Controlar la maduración. | Incondicional | mayor de 1 | 1982 |

| PAIS | PRODUCTO | PROPOSITO | TIPO DE APROBACION | DOSIS kGy | AÑO |
|-------------------|-----------------------------------|------------------------------|--------------------|----------------|------|
| | Especies y condimentos | Descontaminación/Desinfestar | Incondicional | mayor de 10 | 1982 |
| CHINA | Papas | Inhibir germinación | Incondicional | mayor de 0.20 | 1984 |
| | Cebollas | Inhibir germinación | Incondicional | mayor de 0.15 | 1984 |
| | Ajos | Inhibir germinación | Incondicional | mayor de 0.10 | 1984 |
| | Cacahuete | Desinfestar de insectos | Incondicional | mayor de 0.40 | 1984 |
| | Granos | Desinfestar de insectos | Incondicional | mayor de 0.45 | 1984 |
| | Hongos | Inhibir el crecimiento | Incondicional | mayor de 1 | 1984 |
| | Salchichas | Descontaminación | Incondicional | mayor de 8 | 1984 |
| CHECOSLOVAQUIA | Papas | Inhibir germinación | Lts. Expmtls. | mayor de 0.1 | 1976 |
| | Cebollas | Inhibir germinación | Lts. Expmtls. | mayor de 0.8 | 1976 |
| | Hongos | Inhibir crecimiento | Lts. Expmtls. | mayor de 2 | 1976 |
| YINAMARCA | Papas | Inhibir germinación | Incondicional | mayor de 0.15 | 1970 |
| FRANCIA | Papas | Inhibir germinación | Provisional | mayor de 0.075 | 1972 |
| | Cebollas | Inhibir germinación | Provisional | mayor de 0.15 | 1977 |
| | Ajos | Inhibir germinación | Provisional | mayor de 0.15 | 1977 |
| | Chayotes | Inhibir germinación | Provisional | mayor de 0.15 | 1977 |
| | Especies y sustancias aromáticas. | Descontaminación | Incondicional | mayor de 11 | 1983 |
| | Goma arábica | Descontaminación | Incondicional | mayor de 9 | 1985 |
| | Vegetales deshidratados | Descontaminación | Incondicional | mayor de 10 | 1985 |
| | Carne de ave sin hueso | Descontaminación | Incondicional | mayor de 5 | 1985 |
| REP. DEM. ALEMANA | Cebollas | Inhibir germinación | Prueb. de mercado | mayor de 50 | 1981 |
| | Cebollas | Inhibir germinación | Incondicional | mayor de 20 | 1984 |
| | Soluciones de enzimas | Descontaminación | Incondicional | mayor de 10 | 1983 |
| | Especies | Descontaminación | Provisional | mayor de 10 | 1982 |

| PAIS | PRODUCTO | PROPOSITO | TIPO DE APROBACION | DOSIS KGy | AÑO |
|-----------|--|----------------------------|--------------------------|---------------|------|
| REP. FED. | Alimentos congelados | Estерilización | Pacientes hospitalizados | | |
| | Papas | Inhibir germinación | Pruebas de mercado | | |
| HUNGRIA | Papas | Inhibir germinación | Pruebas de mercado | mayor de 0.1 | 1969 |
| | Papas | Inhibir germinación | Pruebas de mercado | mayor de 0.15 | 1972 |
| | Papas | Inhibir germinación | Pruebas de mercado | mayor de 0.15 | 1973 |
| | Cebollas | Inhibir germinación | Pruebas de mercado | | 1973 |
| | Fresas | Alargar la vida de anaquel | Pruebas de mercado | | |
| | Mezcla de especias | Descontaminación | Lts. Expmis. | mayor de 5 | 1974 |
| | Cebollas | Inhibir germinación | Pruebas de mercado | mayor de 0.05 | 1975 |
| | Cebollas | Inhibir germinación | Ltes. Expmis. | mayor de 0.06 | 1976 |
| | Mezcla de ingredientes para picadillo de carne en lata | Descontaminación | Ltes. Expmis. | mayor de 5 | 1976 |
| | Papas | Inhibir germinación | Pruebas de mercado | mayor de 0.10 | 1980 |
| | Cebollas | Inhibir germinación | Ltes. Expmis. | mayor de 0.5 | 1980 |
| | Hojuelas de cebolla deshidratadas | Inhibir germinación | Pruebas de mercado | mayor de 0.05 | 1980 |
| | Hongos | Inhibir crecimiento | Pruebas de mercado | mayor de 2.5 | 1981 |
| | Fresas | Alargar la vida de anaquel | Pruebas de mercado | | |
| | Papas | Inhibir germinación | Pruebas de mercado | mayor de 0.1 | 1981 |
| | Papas | Inhibir germinación | Pruebas de mercado | mayor de 0.10 | 1981 |
| | Especias para embutidos | Descontaminación | Pruebas de mercado | mayor de 5 | 1982 |
| | Fresas | Alargar la vida de anaquel | Pruebas de mercado | mayor de 2.5 | 1982 |

| PAIS | PRODUCTO | PROPOSITO | TIPO DE APROBACION | DOSES kg | AÑO |
|-------------------|--------------------------------------|---|--------------------|---------------|------|
| | Hongos | Inhibir crecimiento | Pruebas de mercado | Mayor de 2.5 | 1982 |
| | Uvas | Alargar la vida de anaquel | Pruebas de mercado | Mayor de 2.5 | 1982 |
| | Cerezas | Alargar la vida de anaquel | Pruebas de mercado | Mayor de 2.5 | 1982 |
| | Cerezas agri- dulces | Alargar la vida de anaquel | Pruebas de mercado | mayor de 2.5 | 1982 |
| | Cebollas | Inhibir germinación | Incondicional | mayor de 0.05 | 1982 |
| | Especies para embutidos | Descontaminación | Pruebas de mercado | Mayor de 5 | 1982 |
| PAISES BA- JOS | Aves envic- radas (en bol- sa) | Alargar la vida de anaquel | Lts. Expm'ts. | 3 máxima | 1971 |
| | Pollo | Alargar la vida de anaquel/Descontaminación | Incondicional | 3 máxima | 1976 |
| | Especies | Descontaminación | Provisional | mayor de 10 | 1974 |
| | Mezcla p/batir en polvo | Descontaminación | Pruebas de mercado | mayor de 1.5 | 1974 |
| | Relleno de ve- getales | Descontaminación | Pruebas de mercado | mayor de 0.75 | 1974 |
| | Achicoria pre- parada | Alargar la vida de anaquel | Pruebas de mercado | mayor de 1 | 1975 |
| | Cebollas | Inhibir germinación | Incondicional | 0.05 máxima | 1975 |
| | Especies | Descontaminación | Provisional | mayor de 10 | 1975 |
| | Papas sin cásc- | Alargar la vida de anaquel | Pruebas de | mayor de 0.5 | 1976 |
| | Pollo | Alargar la vida de anaquel/Descontaminación | Incondicional | 3 máxima | 1976 |
| | Camarones | Alargar la vida de anaquel | Pruebas de mercado | mayor de 1 | 1976 |
| | Bacalao y file- tes de pescado | Alargar la vida de anaquel | Pruebas de mercado | mayor de 1 | 1976 |
| | Vegetales fres- cos preparados | Alargar la vida de anaquel | Pruebas de mercado | mayor de 1 | 1977 |
| | Especies | Descontaminación | Provisional | mayor de 10 | 1978 |
| | Anca de rana congeladas | Descontaminación | Provisional | mayor de 5 | 1978 |

| PAIS | PRODUCTO | PROPOSITO | TIPO DE APROBACION | DOISIS kGy | AÑO |
|---------------|-----------------------------------|----------------------------|--------------------|---------------|------|
| | Arroz y productos de arroz entero | Desinfestar de insectos | Provisional | mayor de 1 | 1979 |
| | Pan de centeno | Alargar la vida de anaquel | Provisional | máximo 5 | 1980 |
| | Especies | Descontaminación | Provisional | máximo 7 | 1980 |
| | Camarones congelados | Descontaminación | Provisional | máximo 7 | 1980 |
| | Malta | Descontaminación | Provisional | 10 máximo | 1983 |
| | Camarones hervidos fríos | Alargar la vida de anaquel | | | |
| | Camarones congelados | Descontaminación | Provisional | 7 máximo | 1983 |
| | Pescado congelado | Descontaminación | Provisional | 6 máximo | 1983 |
| | Huevo en polvo | Descontaminación | Provisional | 6 máximo | 1983 |
| | Proteína de sangre seca | Descontaminación | Provisional | 7 máximo | 1983 |
| | Vegetales deshidratados | Descontaminación | Provisional | 10 máximo | 1983 |
| | Botanas refrigeradas. | Alargar la vida de anaquel | Pruebas de mercado | mayor de 2 | 1984 |
| NUEVA ZELANDA | Especies | Descontaminación | Provisional | mayor de 8 | 1985 |
| NORUEGA | Especies | Descontaminación | Incondicional | mayor de 10 | |
| FILIPINAS | Papas | Inhibir germinación | Provisional | 0.15 máx. | 1972 |
| | Cebollas | Inhibir germinación | Provisional | mayor de 0.07 | 1981 |
| | Ajos | Inhibir germinación | Provisional | mayor de 0.07 | 1981 |
| POLONIA | Papas | Inhibir germinación | provisional | mayor de 0.15 | 1982 |
| | Cebollas | Inhibir germinación | Provisional | mayor de 0.15 | 1982 |
| SUDAFRICA | Papas | Inhibir germinación | Incondicional | 0.12-0.24 | 1977 |
| | Plátanos deshidratados | Desinfestar de insectos | Provisional | 0.5 máx. | 1977 |
| | Aguacate | Desinfestar de insectos | Provisional | 0.1 máx. | 1977 |
| | Cebollas | Inhibir germinación | Incondicional | 0.05-0.15 | 1978 |

| PAIS | PRODUCTO | PROPOSITO | TIPO DE APROBACION | DOSIS kGv | AÑO |
|--------|--------------------------------|---|--------------------|-------------|-------|
| | Ajos | Inhibir germinación | Incondicional | 0.1-0.20 | 1978 |
| | Pollo | Alargar la vida de anaquel/Descontaminación | Incondicional | 2 - 7 | 1978 |
| | Papaya | Alargar la vida de anaquel | Incondicional | 05-1.5 | 1978 |
| | Mango | Alargar la vida de anaquel | Incondicional | 0.5 - 1.5 | 1978 |
| | Fresas | Alargar la vida de anaquel | Incondicional | 1 - 4 | 1978 |
| | Plátanos | Alargar la vida de anaquel | Incondicional | | 1982 |
| | Litchis | Alargar la vida de anaquel | Incondicional | | 1982 |
| | Mango encurtido | Alargar la vida de anaquel | Incondicional | | 1982 |
| | Aguacate | Alargar la vida de anaquel | Incondicional | | 1982 |
| | Jugos de frutas congelados | Alargar la vida de anaquel | Incondicional | | 1982 |
| | Ejotes | | Incondicional | | |
| | Tomates | Control Maduración | Incondicional | | |
| | Productos encurtidos de soya | | Incondicional | | |
| | Jengibre | | Incondicional | | |
| | Pasta de vegetales. | | Incondicional | | |
| | Plátanos deshidratados | Desinfestar de insectos | Incondicional | | |
| | Almendra | Desinfestar de insectos | Incondicional | | |
| | Queso en polvo | Desinfestar de insectos | Incondicional | | |
| | Levadura en polvo | | Incondicional | | |
| | Te | | Incondicional | | |
| | Espesantes | | Incondicional | | |
| | Vegetales deshidratados varios | | Incondicional | | |
| ESPAÑA | Papas | Inhibir germinación | Incondicional | 0.05 - 0.15 | 1969 |
| | Cebollas | Inhibir germinación | Incondicional | 0.08 max. | 1971. |

| PAIS | PRODUCTO | PROPOSITO | TIPO DE APROBACION | DOSIS kgY | AÑO |
|--------------|---|----------------------------|--------------------------|---------------|------|
| TAILANDIA | Cebollas | Inhibir germinación | Incondicional | 0.1 max. | 1973 |
| URSS | Papas | inhibir germinación | incondicional | 0.1 max. | 1958 |
| | Papas | Inhibir germinación | Incondicional | 0.3 | 1973 |
| | Grenos | Desinfestar de insectos | Incondicional | mayor de 0.3 | 1959 |
| | Vegetales y frutas frescos | Alargar la vida de anaquel | Ltes. Expmtils. | 2 - 4 | 1964 |
| | Productos de res. puerco y conejo en bolsas de -- plástico. | Alargar la vida de | Ltes. Expmtils. | 6 - 8 | 1964 |
| | Frutas secas | Desinfestar de insectos | Incondicional | Mayor de 1 | 1966 |
| | Alimentos concentrados deshidratados (Arroz, pudín) | Desinfestar de insectos | Incondicional | mayor de 0.7 | 1966 |
| | Aves eviseradas en bolsas de plástico | Alargar la vida de anaquel | Lotes Expmtils. | Mayor de 5 | 1966 |
| | Productos cocinados de carne (carne frita, entrecot, en bolsas de plástico) | Alargar la vida de anaquel | Pruebas de mercado | Mayor de 8 | 1967 |
| | Cebollas | Inhibir germinación | Pbas. mercado | Mayor de 0.06 | 1967 |
| Cebollas | Inhibir germinación | Incondicional | Mayor de 0.06 | 1973 | |
| GRAN BRETAÑA | Cualquier alimento p/consumo de pacientes que requirieron dietas estériles | Esterilización | Pacientes hospitalizados | | 1969 |
| E.E.U.U. | Trigo y Harina de trigo | Desinfestar de insectos. | Incondicional | 0.2 - 0.5 | 1963 |
| | Papa blanca | Alargar la vida de anaquel | Incondicional | 0,05 - 0.1 | 1964 |

| PAIS | PRODUCTO | PROPOSITO | TIPO DE APROBACION | DOSES kGy | AÑO |
|----------------------------------|--|---|--------------------|----------------------|------|
| | Papa blanca | Alargar la vida de anaquel | Incondicional | 0.05-0.15 | 1955 |
| | Especies y sazoadores vegetales deshidratados. | Descontaminación/Desinfestar | Incondicional | 30 máx. | 1983 |
| | Preparaciones de enzimas secas o deshidratadas (incluyendo preparaciones de enzimas inmovilizadas) | Control Insectos. | Incondicional | 10 máx. | 1985 |
| | Cortes de puerco frescos | Control de Trichinella spiralis | Incondicional | 0.3 mín. 1.0 máx. | 1985 |
| URUGUAY | Papas | Inhibir germinación | Incondicional | | 1970 |
| YUGOSLAVIA | Cereales | Desinfestar de insectos | Incondicional | mayor de 10 | 1984 |
| | Leguminosas | Desinfestar de insectos | Incondicional | mayor de 10 | 1984 |
| | Cebollas | Inhibir germinación | Incondicional | mayor de 10 | 1984 |
| | Ajos | Inhibir germinación | Incondicional | mayor de 10 | 1984 |
| | Papas | Inhibir germinación | Incondicional | mayor de 10 | 1984 |
| | Frutas deshidratadas y vegetales | Inhibir germinación | Incondicional | mayor de 10 | 1984 |
| | Hongos secos | | Incondicional | Mayor de 10 | 1984 |
| | Huevo en polvo | Descontaminación | Incondicional | Mayor de 10 | 1984 |
| | Te y extracto de Le | Descontaminación | Incondicional | Mayor de 10 | 1984 |
| | Aves frescas | Alargar la vida de anaquel/Descontaminación | Incondicional | Mayor de 10 | 1984 |
| COMITE EXPERTO FAO/IAEA/WHO 1969 | Trigo y sus productos | Desinfestar de insectos | Provisional | 0.75 máx. | 1969 |
| COMITE EXPERTO FAO/IAEA/WHO 1976 | Papas | Inhibir germinación | Incondicional | mayor de 0.03 | 1976 |
| | Cebollas | Inhibir germinación | Provisional | 0.02 - 0.15 | 1976 |
| | Papaya | Desinfestar de insectos. | Incondicional | 0.5 - 1 | 1976 |

| PAIS | PRODUCTO | PROPOSITO | TIPO DE APROBACION | DOSES kGy | Año |
|--------|-----------------------|--|--------------------|-------------|------|
| | Fresas | Alargar la vida de anaquel | Incondicional | 1 - 3 | 1976 |
| | Trigo y sus productos | | | | |
| | Arroz | Desinfestar de insectos | Provisional | 0.1 - 1 | 1976 |
| | Pollo | Alargar la vida de anaquel/Descontaminar | Incondicional | 2 - 7 | 1976 |
| | Salmon y Bacalao | Alargar la vida de anaquel/Descontaminar | Provisional | 2 - 2.2 | 1976 |
| COMITE | Cualquier Alimento | Inhibir germinación/Alargar la vida de anaquel/Descontaminar/Desinfestar/Control de maduración/Inhibir el crecimiento. | Incondicional | mayor de 10 | 1980 |

CUADRO No. 4 ALIMENTOS IRRADIADOS, PRODUCIDOS Y COMERCIALIZADOS EN DIFERENTES PAISES.

| PRODUCTO | CANTIDAD (t) | PERIODO | PAISES |
|--|--------------|-----------|---|
| Papas | 130,000 | 1964-1980 | Canadá, Chile, República Federal de Alemania, Hungría, Italia, Japón, - Países Bajos, Sudáfrica, Uruguay. |
| Harina de trigo | 114 | 1967-1969 | E.E.U.U. |
| Cebollas | 2,000 | 1968-1980 | Francia, Hungría, Israel, Italia, - Países Bajos, Tailandia. |
| Hongos | 45 | 1970 | Países Bajos |
| Espesies | 220 | 1971-1980 | Hungría, Países Bajos |
| Colorante | | | |
| Orgánico | 1,700 | 1976-1980 | Países Bajos. |
| Mangos | 28 | 1977-1980 | Países Bajos, Sudáfrica. |
| Filetes de Pescado | 8 | 1977-1978 | Países Bajos |
| Productos marinos y ancas de rana congelados | 1,500 | 1978-1980 | Australia, Países Bajos |
| Papayas y fresas | 20 | 1978-1980 | Sudáfrica |

CONCLUSIONES

Muchos autores consideran la radiopreservación de los alimentos como una panacea, ya que uno de los más grandes retos que enfrenta la humanidad actualmente es la disponibilidad de suficientes reservas de alimentos para satisfacer las necesidades de una población en rápido crecimiento. La población mundial estimada en 1980 fué de 4,500 millones de personas y se espera que para el año 2000 alcance los 6,100 millones. La mayoría de este incremento de población tendrá lugar en países donde ya existe la escasez de alimentos. La ONU ha estimado que alrededor del 50% de la población mundial sufre hambre o desnutrición. El desarrollo del proceso de irradiación en los últimos 25 años ha dado a la humanidad otra herramienta para incrementar el total de las reservas de alimentos.

(6)

Por otra parte, existe una creciente demanda de alimentos con una adecuada vida de anaquel tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo.

Este método presenta las siguientes ventajas:

Treinta años de trabajo de investigación sobre la preservación de alimentos por irradiación han demostrado que esta tecnología requiere menor energía que otros métodos de preservación de alimentos, elimina eficientemente los microorganismos patógenos y puede reemplazar o minimizar drásticamente el uso de aditivos alimenticios y fumigantes que representan riesgos para la salud del consumidor. (31)

Esta técnica ha probado ser tan revolucionaria como el descubrimiento del enlatado hace aproximadamente 175 años. Combinado con otros métodos modernos, el uso de la irradiación puede ser una gran contribución para aumentar las reservas mundiales de alimentos. (15)

Un mundo hambriento no puede afrontar el perder el 25% de sus cosechas debido al deterioro por microorganismos y plagas. Este deterioro tiende a ser mayor en los países en desarrollo que frecuentemente tienen climas cálidos y húmedos. La extensión de la vida de anaquel podría eliminar otra gran fuente de desperdicio de alimentos permitiendo el incremento del tiempo entre la cosecha y el consumo, ésto es válido para las frutas de los países cálidos y la extensión de la vida de anaquel de las cosechas de tubérculos en los países fríos donde sólo pueda haber una cosecha por año. (86)

La irradiación gamma es una tecnología bien establecida que puede contribuir significativamente para hacer que existan más alimentos disponibles a un costo razonable para satisfacer las necesidades de una población mundial en rápido crecimiento. (10)

Debido a su habilidad para inhibir la germinación en cosechas de tubérculos, prevenir la reproducción de insectos, matar insectos y parásitos, inactivar bacterias, esporas y mohos (causantes de la descomposición de los alimentos), retardar la maduración de las frutas y mejorar las propiedades de los alimentos, la irradiación puede retardar

las pérdidas posteriores a la cosecha. (53)

El proceso de irradiación de alimentos involucra la exposición del alimento a la radiación ionizante de modo que una cantidad prescrita sea absorbida por éste. Las fuentes de radiación utilizadas son las siguientes:

- Rayos gamma de los núclidos cobalto -60 o cesio-137
- Haces de electrones generados por fuentes operadas a niveles de energía por abajo de 10 MeV. (37)

Como la irradiación no calienta el material tratado, el alimento conserva su frescura (pescado, frutas, vegetales) y su estado físico (artículos deshidratados o congelados). Los agentes causantes de descomposición (bacterias, insectos, etc.), se eliminan del alimento empacado y teniendo materiales de empaque impermeables a insectos y bacterias, se evita la recontaminación. (32)

Cuando los rayos gamma provenientes de una fuente de radiación pasan a través del alimento, matan o reducen el número de microorganismos en los alimentos previniendo o retardando la descomposición. La exposición a los rayos gamma se lleva a cabo bajo condiciones cuidadosamente controladas. (14)

Si un átomo neutro es bombardeado con radiación con suficiente

energía para expulsar los electrones, el átomo es convertido en un par iónico. Cuando la radiación pasa a través de un alimento ioniza algunos átomos en su trayectoria y causa alteraciones en las macromoléculas lo que resulta en la destrucción de bacterias y otros microorganismos. Los átomos del alimento se ionizan también, pero para algunos alimentos se ha comprobado que los radicales libres formados no son nocivos a la salud. Por otra parte, el alimento no se vuelve radiactivo y con bajas dosis de radiación existen menos pérdida de vitaminas que con el enlatado, congelado, o secado. (14)

La preservación por radiación se realiza con tres fines principales:

Radurización: Prolongar el período de almacenamiento útil de los alimentos.

Radacidación: Eliminación de microorganismos patógenos.

Radapertización: Esterilidad comercial.

Los dos primeros términos equivalen a la pasteurización y el tercero a una esterilización comercial. (60)

Sin embargo, pese a las ventajas anteriormente expuestas, ésta tecnología no se ha introducido comercialmente a gran escala por diversos motivos. Muchos autores piensan que la razón más importante entre otras, es la mal informada opinión pública que todavía asocia todo lo relacionado con energía atómica con los horrores de las armas nucleares. (37)

Por otra parte, las pruebas de comestibilidad, necesarias para la aprobación de cada uno de los diferentes tipos de alimentos irradiados, requieren mucho tiempo.

Otro factor que ha impedido la aplicación de ésta tecnología es el económico, pues se deben construir y operar plantas piloto en diferentes naciones y condiciones ambientales para estimar los costos de operación antes de esperar que la industria invierta millones de dólares en grandes instalaciones comerciales. (71)

Existe el problema de que el gran potencial de este nuevo proceso no es conocido adecuadamente fuera del pequeño sector de la comunidad científica que ha trabajado en su desarrollo a lo largo de los años.

La investigación sobre irradiación de alimentos ha estado patrocinada por diferentes agencias gubernamentales y no por la industria de alimentos. (90)

Existe el consenso de los científicos de IAEA/FAO/WHO de que el principal obstáculo para el uso de la tecnología de irradiación a nivel mundial, es la política (originalmente planteada por los Estados Unidos), de considerar la irradiación como un aditivo alimenticio requiriendo pruebas de comestibilidad costosas y consumidoras de mucho tiempo para cada artículo alimenticio, a fin de lograr su aprobación. (91)

ANEXO I

PRINCIPIOS BASICOS SOBRE RADIOACTIVIDAD

Propiedades de la radiación

La radiactividad fué descubierta en 1896 por Henri Becquerel al trabajar sobre una sal de uranio que emitía radiaciones similares a los rayos X, con un considerable poder de penetración.

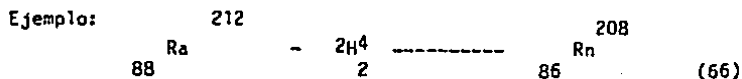
Un año después aparece el término radiactividad en una publicación de Pierre y Marie Curie sobre sus investigaciones químicas de la pezblenda, mineral que contiene radio y uranio. (9)

La materia es radiactiva cuando los núcleos atómicos emiten partículas subnucleares, o radiación electromagnética característica, sin masa ni carga, y al mismo tiempo tiene lugar un intercambio de energía.

El decaimiento radiactivo es un proceso de degradación por el cual los núcleos pueden emitir partículas y al perder masa se convierten en otro elemento, o bien, emiten rayos y pierden pura energía, por lo cual el mismo elemento pasa a otro estado de energía. Este es un proceso espontáneo y al azar, independiente de factores externos. La probabilidad de que un núcleo radiactivo emita partículas o rayos en la unidad de tiempo adoptada, es independiente del destino de núcleos vecinos y también independiente del estado químico de los átomos o de sus condiciones físicas. (10)

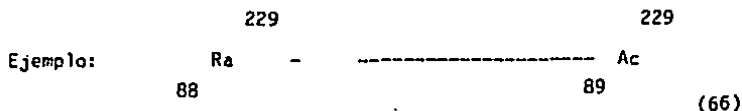
El núcleo atómico puede emitir radiaciones de 4 especies principalmente:

1) Partículas alfa: Consisten en dos neutrones asociados con dos protones, por lo que pueden considerarse como núcleos de átomos de helio. Tienen una carga de 4 u.m.a. y dos cargas positivas. Un núcleo atómico, al emitir una partícula alfa, pierde dos unidades en carga y cuatro unidades en masa, y se convierte en otro elemento con número atómico menor y número de masa menor, por lo que los elementos radiactivos que nacen por la emisión de partículas alfa pasan a ocupar un sitio dos lugares a la izquierda de su colocación original en la tabla periódica de los elementos. Son emitidas con energía uniforme y se dice que tienen un espectro lineal.

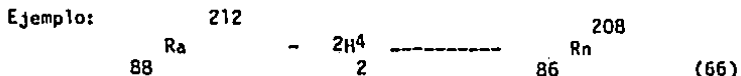


2) Partículas beta: son de masa despreciable, su masa es la del electrón, es decir 1/1832 de la del protón. Su carga puede ser positiva o negativa.

Las partículas beta negativas o negatrones, son electrones emitidos por el núcleo, el cual aumenta una unidad su carga positiva, al transformar un neutrón en protón. Por tanto, el número atómico aumenta una unidad, el átomo se convierte en el elemento situado un lugar a la derecha en la tabla periódica y su número de masa permanece sensiblemente el mismo.

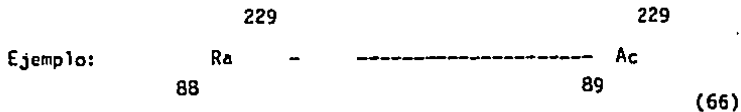


1) Partículas alfa: Consisten en dos neutrones asociados con dos protones, por lo que pueden considerarse como núcleos de átomos de helio. Tienen una carga de 4 u.m.a. y dos cargas positivas. Un núcleo atómico, al emitir una partícula alfa, pierde dos unidades en carga y cuatro unidades en masa, y se convierte en otro elemento con número atómico menor y número de masa menor, por lo que los elementos radiactivos que nacen por la emisión de partículas alfa pasan a ocupar un sitio dos lugares a la izquierda de su colocación original en la tabla periódica de los elementos. Son emitidas con energía uniforme y se dice que tienen un espectro lineal.

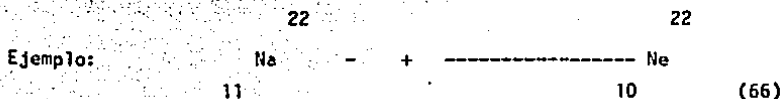


2) Partículas beta: son de masa despreciable, su masa es la del electrón, es decir 1/1832 de la del protón. Su carga puede ser positiva o negativa.

Las partículas beta negativas o negatrones, son electrones emitidos por el núcleo, el cual aumenta una unidad su carga positiva, al transformar un neutrón en protón. Por tanto, el número atómico aumenta una unidad, el átomo se convierte en el elemento situado un lugar a la derecha en la tabla periódica y su número de masa permanece sensiblemente el mismo.



La partícula beta positiva o positrón, es emitida cuando un protón se transforma en neutrón y una partícula de la misma masa que el electrón pero con carga positiva es emitida por el núcleo. El número atómico decrece una unidad y el elemento se corre un lugar a la izquierda en la tabla periódica.



3) Neutrones: Son partículas sin carga con una masa de aproximadamente 1 u.m.a. Los núcleos que pierden neutrones no cambian su número atómico, pero su número de masa disminuye una unidad por cada neutrón emitido. Este tipo de emisión ocurre durante los eventos de visión nuclear de metales pesados o por reacciones nucleares características.

4) Rayos gamma: Son radiaciones electromagnéticas similares a los rayos X, la luz u ondas de radio, pero con mucho menor longitud de onda y mucho mayor energía. Tienen energías bien definidas, ya que son producidos por la transición entre niveles de energía y son emitidos por el núcleo. A menudo los rayos gamma son llamados fotones cuando se consideran como paquetes de energía con valor constante emitidos por el núcleo radiactivo al decaer. (66)

Es importante considerar que la unidad de masa atómica u.m.a.

equivalente a $1/12$ de la masa del átomo de ^{12}C , o sea igual a 1.66043×10^{-24} gramos. El protón tiene una masa de 1.007177 u.m.a., el electrón de 0.000549 u.m.a. y el neutrón de 1.008665 u.m.a. (68)

Radiactividad natural y Radiactividad artificial.

Todos los elementos encontrados en fuentes naturales con número atómico mayor de 83 (bismuto), son radiactivos. Pertenecen a cadenas de decaimiento sucesivo, y todas las especies de una cadena constituyen una familia radiactiva o serie.

Tres de estas familias incluyen toda la actividad natural en ésta región de la tabla periódica.

Una de ellas tiene el uranio $_{92}\text{U}^{238}$ como substancia padre y después de catorce transformaciones, ocho de ellas por emisión de partícula alfa y seis de ellas por emisión de partículas beta, se llega a un producto final estable, radio G ($_{82}\text{Pb}^{206}$). Este proceso es conocido como "series de uranio", que incluye el radio y sus productos de decaimiento. Las diferentes masas encontradas en miembros de la familia difieren por múltiplos de 4 y la fórmula general de sus masas aproximadas es igual a $4n+2$, donde n es un número entero, así las series de uranio también se conocen como las series $4n + 2$. Esto se debe a que la masa es cambiada en 4 unidades por la emisión de partículas alfa, y en una pequeña fracción de una unidad por la emisión de negatronos. (77)

El torio es la substancia padre de las series $4n$ o series del torio cuyo producto final estable, torio D, tiene masa de 208 ($_{82}\text{Pb}^{208}$).

Las series $4n + 3$ o series del actinio, tienen actinio uranio como padre y la masa del producto final estable, actinio D, es de 207 ($_{82}\text{Pb}^{207}$).

Existen decaimientos ramificados en las tres series.

En cada una de las tres familias hay un isótopo del elemento 86 conocido como radón. Estas radiactividades de gas raro, radón, torón y actinón, son emanaciones. Es debido al carácter gaseoso de estas substancias que los descendientes de las tres familias pueden ser tan fácilmente aislados de sus precursores de larga vida. Estos descendientes de las emanaciones son llamados "depósitos activos". El depósito activo de cualquiera de las 3 series radiactivas puede ser colectado por exposición de cualquier objeto o más eficientemente por un electrodo cargado negativamente.

Desde el descubrimiento de la radiactividad casi cada elemento ha sido examinado para encontrar evidencia de ésta.

En 1906 N.R. Campbell y A. Wood descubrieron una débil radiactividad beta en potasio y rubidio. En 1932, G. Hevesy y M. Pahl reportaron radiactividad en samario y más recientemente se han encontrado más radiactividades naturales. En algunos de estos elementos el isótopo responsable de la radiactividad se encuentra en muy pequeña cantidad.

y en otros casos las vidas medias son extremadamente largas. Cualquiera de estos factores hace las actividades difíciles de detectar. (77)

En 1934, I. Curie y F. Joliot, anunciaron que el boro y el aluminio podían hacerse radiactivos por bombardeo con partículas alfa obtenidas de polonio. Este descubrimiento vino como consecuencia de sus experimentos para producir positrones bombardeando elementos con partículas alfa. El positrón había sido descubierto dos años antes por C.D. Anderson como componente de la radiación cósmica. Muchos laboratorios encontraron rápidamente que los positrones podían ser producidos en elementos ligeros por bombardeo de rayos alfa. El descubrimiento de Curie-Joliot fue que el boro y el aluminio continuaban emitiendo positrones después de apartar la fuente alfa y que la radiactividad inducida en cada caso decaía con una característica vida media. (se reportaron 14 minutos para boro y 3.25 para aluminio).

En los 30 años siguientes al descubrimiento Curie-Joliot ocurrió un increíble crecimiento de este nuevo campo. El número de especies radiactivas producidas artificialmente alcanzó 200 en 1937, cerca de 400 en 1944, cerca de 650 en 1949, cerca de 1000 en 1954, y actualmente se conocen aproximadamente 2,500. (14)

Por último, se conoce al menos un isótopo radiactivo para cada elemento de la tabla periódica y algunos elementos tienen 20 o más. El rango de vidas medias medidas va desde milisegundos a muchos miles-

de millones de años. La radiactividad producida artificialmente ha encontrado importantes aplicaciones en muchos campos como química, física, biología, medicina, ingeniería e industria. (20)

Aunque las primeras sustancias radiactivas producidas artificialmente decaen por emisión de positrones, no es el único ni el más común tipo de decaimiento. Se han encontrado emisores de partículas alfa, principalmente entre los elementos más pesados. El decaimiento beta es comúnmente encontrado en isótopos radiactivos de elementos menos pesados.

En este tipo de decaimiento se emiten electrones negativos y el número atómico se incrementa en una unidad. Otro tipo de decaimiento es la emisión de positrones que produce un decremento de una unidad en el número atómico o bien la incorporación espontánea de uno de los electrones atómicos al núcleo, más frecuentemente de la capa K del átomo.

En estos tres últimos procesos, la masa atómica permanece esencialmente constante, mientras que el número atómico cambia, los tres son generalmente clasificados como procesos de decaimiento beta, y se distinguen con los nombres de: emisión de negatrones, emisión de positrones y captura de electrones. (34)

No solamente ha sido posible producir isótopos radiactivos de

cada elemento conocido por técnicas de transmutación, sino que también han sido sintetizados elementos que no se encuentran en la naturaleza. En cada caso el nuevo elemento se ha encontrado en pequeñísimas cantidades no mesurables detectables solamente por su radiactividad, de cualquier forma se han preparado macrocantidades de estos nuevos elementos.

La explicación más plausible del porque los elementos transuránicos no se encuentran en la naturaleza es que no tienen una vida media suficientemente larga para haber sobrevivido desde la formación original de los elementos, aproximadamente 5.0×10^9 años. (34)

Interacción radiación-materia.

En un vacío perfecto, las radiaciones continuarían moviéndose indefinidamente, pero en un medio sólido, líquido o gaseoso todas las formas de radiación pierden energía y acaban por ser absorbidas. La energía transferida a la materia origina diversos eventos de ionización con los átomos que la constituyen, según el tipo de radiación y cantidad de energía disipada, lo que hace posible la detección de las radiaciones. (1)

Ionización específica:

Para cualquier radiación, la ionización específica se define como el número de pares iónicos producidos por cada milímetro de trayectoria en un medio dado. Los pares iónicos se forman cuando la radiación incide sobre un electrón de los átomos que atraviesa, es transferida

una cantidad de energía al electrón, el cual es disparado del átomo en forma de ión negativo y el átomo permanece como ión positivo formando el par iónico.

Dado que el diámetro del átomo es de 10^{-8} cm. en promedio y el diámetro del núcleo 10,000 veces menor, es decir de aproximadamente 10^{-12} cm. hay menos probabilidades de que la radiación incida sobre el núcleo produciendo una reacción nuclear característica. De cualquier forma esta probabilidad puede calcularse en términos de sección eficaz representada por la letra griega σ y que es la superficie efectiva transversal a la radiación, cuyas unidades son de superficie, aunque no tienen significado como medidas de área, sino que establecen la probabilidad de que ocurra una reacción nuclear determinada por el tipo y energía de la radiación incidente y las características del núcleo en cuestión. Su unidad es el "barn" que equivale a 1×10^{-24} cm.² (42)

Trayectoria de las partículas alfa:

Las partículas alfa son extremadamente pesadas y grandes en relación a los otros tipos de radiación nuclear (mayor a 4 uma).

Cuando una partícula alfa incide sobre un electrón, lo despierta fuera del átomo sin que su trayectoria sea modificada. Así la trayectoria de las partículas alfa es muy corta, debido a que por su tamaño y peso su ionización específica es muy grande y tienen gran número de colisiones durante un corto trayecto. (68).

Alcance o rango de las partículas alfa:

De este modo es llamado el espesor de materia que las partículas alfa pueden atravesar antes de perder toda su energía, y está en función de la energía de las partículas.

La energía puede ser determinada al obtenerse el alcance por un procedimiento experimental consistente en la absorción de las partículas en espesores conocidos de materia.

Todas las partículas alfa tienen la misma energía para un emisor dado. (68)

Espectro de las partículas alfa:

Todas las partículas alfa emitidas por un radioisótopo dado, tienen la misma energía, así serán paradas como un todo por un determinado espesor de materia y su espectro o distribución de energía mostrará un pico correspondiente a su energía característica. Si se traza una gráfica de energía contra actividad de partículas alfa emitidas por un radioisótopo determinado, se obtiene un pico en el valor determinado de su energía. Esta gráfica puede trazarse porque existen instrumentos de detección radiactiva capaces de clasificar según su tamaño las señales electrónicas o pulsos producidos por la radiación, tamaño que resulta proporcional a la energía de la radiación detectada. (68)

Trayectoria de las partículas beta negativas:

Los negatrones son mucho más pequeños y ligeros que las partículas alfa y se mueven más rápidamente, por lo que causan una ionización específica menor y su trayectoria resulta más larga.

Alcance o rango de las partículas beta negativas:

No todos los negatrones emitidos por un radioisótopo determinado tienen la misma energía. Su energía puede ser de casi cero hasta un valor máximo determinado por la cantidad de energía disponible en la transformación nuclear. Así, sólo las partículas beta negativas más energéticas podrán atravesar los mayores espesores de materia mientras las más débiles son absorbidas por él. De esta forma el espesor de materia expresado en mg/cm^2 o espesor másico capaz de detener o absorber los negatrones de máxima energía emitidos por un radioisótopo es llamado su rango o alcance máximo. La energía promedio de los negatrones emitidos por una fuente dada, es aproximadamente $1/3$ de su energía máxima, y ésta es la cifra utilizada para calcular la velocidad de emisión y absorción de energía. (68)

Radiación Bremsstrahlung:

Cuando una partícula beta negativa cambia su trayectoria al pasar cerca de un núcleo, el cambio en velocidad y consecuente pérdida de energía da lugar a una radiación electromagnética llamada Bremsstrahlung, similar a los rayos X que resulta más abundante cuando la radiación beta negativa atraviesa materiales de alto número atómico. Por tanto, los absorbedores seleccionados para determinaciones del alcance

de los negatrones deberán ser materiales de bajo número atómico tales como el aluminio (3)

Radiación de aniquilación:

Las partículas beta positivas o positrones, interaccionan con los electrones, produciendo la llamada radiación de aniquilación que consiste en dos rayos gamma de 0.51 MeV cada una, que se producen cuando el positrón desaparece al mismo tiempo que el electrón con el cual interactúa.

Espectro de las partículas beta negativas:

Las partículas beta negativas de un emisor dado, tienen todas diferentes energías hasta un máximo determinado por el cambio de masa ocurrido en la transformación nuclear. Esto se ha explicado postulando la existencia del neutrino y el antineutrino, partículas sin carga de masa despreciable. De acuerdo a esta teoría, la energía es compartida entre la partícula beta negativa y el antineutrino en proporciones variables dando lugar a un espectro continuo cuando es trazada una gráfica de energía contra número de partículas emitidas por unidad de tiempo o actividad. Los positrones comparten su energía con los neutrinos en tanto que los negatrones lo hacen con los antineutrinos.

(3)

Interacción de las radiaciones electromagnéticas con la materia:

Los rayos gamma son emitidos por el núcleo cuando éste se encuentra-

en un estado de excitación decae a un nivel inferior de energía.

Los rayos X son emitidos cuando ocurre una transición entre un estado de excitación del átomo a otro de inferior energía, por el cambio de un electrón a una órbita inferior. Como estos procesos ocurren entre dos niveles definidos tienen una dimensión energética específica. La energía de los rayos gamma abarca un intervalo de keV a MeV en tanto que la de los rayos X va de valores próximos a cero hasta 50-100 keV. El modo de interacción de los rayos X y gamma con la materia es el mismo en esencia, difiriendo solamente en la cantidad de energía que disipan en la materia al ser absorbidos. La ionización específica promedio es de 1/100 de aquella causada por las partículas beta negativas, de manera que la mayor parte de la ionización causada por los rayos X o gamma resulta ionización secundaria. Los tres mecanismos de interacción de la radiación electromagnética con la materia son los siguientes:

1.- Efecto Fotoeléctrico:

El fotón interacciona con el absorbedor como un paquete de energía que es completamente absorbido. Este efecto tiene lugar cuando se trata de radiaciones electromagnéticas de baja energía. Como resultado de la energía absorbida, un electrón, llamado fotoelectrón, es lanzado fuera del átomo desde una órbita exterior al núcleo. El fotoelectrón, a su vez, pierde energía causando la producción de pares iónicos. La vacante orbital es ocupada por otro electrón proveniente de órbitas exteriores, o sea de superiores niveles de energía, emitiéndose un rayo X con una energía específica, igual a la diferencia entre las

energías de amarre de los electrones a ambos niveles. Pero, en vez del rayo X ésta energía puede ser transferida a otro electrón en una órbita cercana al núcleo con un nivel bajo de energía, mismo que es lanzado del átomo y se conoce como electrón Auger. (41)

2.- Efecto Compton:

Si un rayo gamma tiene mayor energía que en caso anterior no es absorbido completamente en una colisión, sino que, al causar el lanzamiento de un electrón, desvía su trayectoria para continuarla con menor energía, mayor longitud de onda y menor frecuencia.

3.- Producción de pares:

Cuando la energía del rayo gamma incidente es muy alta, al ser absorbido por la materia, se transforma en masa y produce dos partículas beta, una negativa y otra positiva. Como se producen dos masas de electrón, es necesaria al menos una energía equivalente a ellas ($2 \times 0.51 = 1.02$ MeV). Si la energía del rayo gamma inicial es mayor que éste umbral, el exceso aparecerá como energía cinética del par formado. A su vez el negatrón causa ionización y el positrón existe hasta que interacciona con otro electrón para aniquilar al par, produciendo se 2 rayos gamma de 0.51 MeV cada uno, conocidos como radiación de aniquilación, por lo que el proceso de aniquilación puede ser considerado hasta cierto punto como el inverso de la producción de pares.

De este modo, el efecto fotoeléctrico es el predominante de rayos

gamma con energías menores a 60 keV cuando atraviesan aluminio y menores a 600 keV si es plomo el medio de absorción.

El efecto Compton predomina para energías de rayos gamma entre 60 keV y 1.5 MeV en aluminio y entre 600 keV y 5 MeV en plomo. La producción de pares es el principal mecanismo de interacción para energías mayores al límite donde se produce principalmente el efecto Compton. (41)

Dosimetría de la radiación ionizante.

En el estudio de los efectos químicos y biológicos de la radiación, una medida cuantitativa de la absorción de la energía de radiación (llamada comúnmente dosis) es necesaria. La unidad de medida usada hasta 1975 era el "rad". La dosis de 1 rad deposita 100 ergs por gramo de material. Después de 1975 se usa el gray, definido como 1 joule de energía absorbida por 1 kg. de material, de modo que $1 \text{ Ky} = 100 \text{ rad}$.

En el pasado se empleó más frecuentemente el "roentgen" o "unidad r", que se define como la cantidad de radiación X o gamma tal que la emisión corpuscular asociada por 0.001293 g. de aire produce iones acarreado 1 unidad electrostática de cantidad de electricidad de cualquier signo. Esto significa que 1 roentgen produce 1.61×10^{12} pares iónicos por gramo de aire. En agua, la absorción de energía correspondiente a 1 r es alrededor de 93 ergs por gramo o 0.93 rad.

para todas las energías de rayos X o gamma arriba de 50 KeV. (68)

Una medida cuantitativa común de la eficiencia del efecto químico de la radiación es el número de moléculas destruidas o producidas por cada 100eV de energía absorbida, llamado el valor "G" de la reacción.

Existen métodos para la medición de la radiación absorbida por los tejidos. Requieren dosímetros de 3 tipos: estándar primario, estándares de operación y dispositivos de control de producción. (92)

El dosímetro estándar primario es el calorímetro desarrollado por la oficina Federal de Estándares en los Estados Unidos. No se presta para usos rutinarios, por lo que han sido desarrollados sistemas dosimétricos de operación, los cuales son estandarizados contra calorímetros dosimétricos.

Se usan cámaras modificadas de ionización para instruir continuamente a la misma fuente de radiación.

Los dosímetros estándar de operación que se utilizan en el control de procesos rutinarios de radiación, son los dosímetros a base de polimetilmetacrilato, sulfatos ferroso y férrico. (63)

Uno de los más importantes estándares es el sulfato ferroso o dosímetro de Fricke que consiste en una solución ácida de una sa]

ferrosa que contiene algún cloruro para inhibir reacciones laterales y efectos de impureza. Se cree que la radiación ioniza el agua y que el oxhidrilo oxida al ión ferroso produciendo iones férricos.

La formación de iones férricos, Fe^{+++} , es el efecto clave que permite la determinación de la dosis de radiación, el ión férrico es detectado por su banda de absorción a una longitud de onda de 305 nm. La dependencia de la concentración y la absorción de la luz es exponencial (Ley de Beer), por tanto, el logaritmo de la atenuación de la luz es proporcional a la concentración. Por medio de cuidadosos experimentos se ha determinado que hay 15.45 ± 0.11 iones férricos formados por cada 100 electrón volts de energía absorbida, así la determinación de la concentración de iones férricos da una medida directa de la energía absorbida. El rendimiento de moléculas o iones es llamado el valor "G". En este caso, G es igual a 15.45. (92)

Cada unidad o recipiente de alimento tratado con radiación ionizante debe ser controlado por dosímetros independientes. Estos dispositivos de control de producción pueden ser tan simples como etiquetas o marcas coloreadas sobre los recipientes o tapas coloreadas de plástico., si los cambios de color están relacionados a la dosis recibida.

Aunque no son tan precisos como los otros dosímetros, son controles baratos extremadamente útiles en la indicación positiva de que fué dado un tratamiento al paquete de alimento. Si esto se une a la información

recibida de dosímetros más precisos. hay poca oportunidad para error en el establecimiento de que un paquete de alimento ha recibido cuando menos la dosis de radiación designada.

La administración de una dosis de radiación a un paquete de alimento debe ser controlada. La distribución de las dosis dentro del paquete y entre paquetes es un factor importante en el control de la calidad. La dosis de radiación está directamente relacionada a los cambios en el alimento, y las variaciones deben ser mantenidas a un mínimo. El rango de 100 a 125% de dosis requerida puede ser tolerable en los alimentos y parece ser compatible con el decaimiento de la fuente de radiación y la economía del proceso. (92)

Fuentes de radiación comunes:

El término "reactores nucleares", ha sido utilizado comúnmente para significar reactores de fisión nuclear, pero también los de fusión nuclear entran dentro de esta categoría. Los reactores de fisión se utilizan con éxito para generar grandes cantidades de energía para uso industrial. También son utilizados en física nuclear para producir intensos haces de neutrones y rayos gamma, estos a su vez, han sido utilizados para estudiar las reacciones nucleares y la producción de radioisótopos. (65)

Entre las fuentes de radiación se pueden citar los siguientes aparatos:

a) Acelerador de Van de Graaff:

Este aparato entra dentro de la categoría de los aceleradores de voltaje directo que son más numerosos que los otros tipos de aceleradores. En general, los aceleradores de voltaje directo constan de tres partes esenciales:

1.- La fuente de iones que consiste en un tubo de descarga con un pequeño agujero en el cátodo, a través del cual es obtenido el haz de iones positivos. Si son acelerados electrones, se usa un filamento calentado.

2.- Un tubo evacuado, a través del cual son aceleradas las partículas; en el extremo de este tubo está colocado un blanco para ser bombardeado. Para obtener un haz de energía uniforme se usa comúnmente un imán analizador para seleccionar la energía.

3.- Una fuente de alto potencial.

El acelerador de Van de Graaff fue la primera máquina que produjo partículas de energías mayores a 1 MeV. El primer generador electrostático de Van de Graaff de 1.5 MeV, fué inventado por él en 1930. Aunque la máxima energía disponible es de 10 MeV, tiene numerosas ventajas sobre otras máquinas. Puede producir haces de altas intensidades (mayores a unos pocos miliamperes) y sus energías son muy homogéneas (más de 0.1%), altamente estable y de fácil manejo.

Este generador electrostático está basado en el principio de que la carga reside en la superficie externa de un conductor, independientemente de su potencial. (35)

Si un conductor cargado se coloca dentro de una esfera hueca (que estará a un potencial más alto), y ambos unidos por medio de un alambre, la carga fluirá del conductor a la esfera.

Una banda B de material aislante corre entre dos rodillos, R y P. Un grupo de puntas afiladas (puntos corona), S, están conectadas al voltaje controlable. P. las puntas afiladas causan la ionización del aire y repelen los iones positivos, que son recolectados por la banda. Las cargas positivas en la banda con recolectadas por otro grupo de puntas afiladas, C., las puntas colectoras. Estas puntas transfieren las cargas a la esfera, la terminal de alto voltaje. Por medio de un grupo de puntos de rocío, S', que rocían cargas negativas se duplica la capacidad transportadora de carga. El proceso de recolección de cargas en una terminal de alto potencial puede continuar indefinidamente. Se alcanza un límite cuando el aislamiento se interrumpe y la pérdida de carga de la corona es igual a la carga transferida por la banda.

Si se llena el tanque con aire o nitrógeno con 3 a 10% de freón a una presión aproximada a 15 atmósferas y usando aislantes en pequeñas piezas, separadas por anillos de la corona para soportar el alto voltaje de la terminal, los protones han sido acelerados alrededor de 8 MeV y corrientes de aproximadamente 100 miliamperes han sido obtenidas.

(35)

Dentro de los aceleradores de resonancia se encuentran los aceleradores lineales que a su vez pueden ser aceleradores de protones o de electrones. En la irradiación de alimentos se utilizan los de electrones.

Los aceleradores lineales, como su nombre lo indica, aceleran las partículas en línea recta usando el principio de resonancia que fue sugerido por G. Ising en 1924 y probado a pequeña escala en un modelo de R. Wideröe en 1925. El primer acelerador lineal con éxito, que fué limitado a la aceleración de iones muy pesado como el mercurio fué desarrollado por D. Sloan y E. Lawrence. Debido a la tremenda diferencia entre las masas del protón y del electrón, la construcción de un acelerador de protones es diferente a la de un acelerador de electrones. (18)

Aceleradores de electrones:

Los electrones acelerados a 2 MeV alcanzan una velocidad muy cercana a la velocidad de la luz. Para una aceleración adicional de electrones la distancia entre los electrodos de aceleración debe ser casi constante. Este espaciamiento se hace muy pequeño mediante el uso de un oscilador de muy alta frecuencia. Esto reduce el tamaño global del acelerador de electrones comparado con el de protones.

El diseño de un acelerador lineal de electrones está basado en .

las ondas que viajan a través de resonancia.

Un acelerador de este tipo consiste en una gufa de ondas forrada de discos anulares metálicos. Una onda electromagnética viaja a través del tubo. Para reducir la velocidad de la onda a aquella de los electrones, están colocados diafragmas a intervalos de aproximadamente un tercio de la longitud de onda.

Producción de radioisótopos.

En una pila o reactor nuclear, el evento esencial es la fisión del ^{235}U inducida por neutrones con la consecuente producción de calor y mayor número de neutrones que los utilizados para ocasionar la fisión inicial, los cuales originan una reacción en cadena mantenida por sí misma, estado del combustible conocido como criticidad.

En los reactores de investigación, al tener una mucho menor cantidad de combustible que los reactores de potencia, se permite a la disipación del calor producido sin utilizarlo, pero en cambio, los neutrones en exceso a los necesarios para mantener la criticidad o neutrones libres son empleados para producir radioisótopos.

El ^{60}Co se produce por la irradiación neutrónica del cobalto, el cual está formado por un sólo isótopo: ^{59}Co , que al capturar un neutrón forma un núcleo compuesto que emite un rayo gamma en una fracción muy pequeña de segundo, y queda convertido en ^{60}Co , radiactivo, con,

una vida media y tipo de decaimiento característicos.

El ^{137}Cs se produce como uno de los isótopos radiactivos de los elementos del Zn al Dy, que se obtienen por la fisión del ^{235}U , con la simultánea emisión de calor y mayor número de neutrones que los utilizados para producirla.

Hasta el presente, ha resultado más económica la producción de ^{60}Co , a través de la reacción nuclear $^{59}\text{Co} (n, \gamma) ^{60}\text{Co}$, debido a la proliferación de los reactores nucleares de potencia y consecuente mayor producción de productos de fisión. (68)

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Adler J. H. et al. 1978 "Treatment of Animal Feeds with ionizing radiation. II: Effects of gamma radication on the biological value of poultry feed". IAE-SM-221/33.
- 2.- Aiyar S.A. 1981. "Present status of the wholesomeness of irradiated foods of basic interest to developing countries". IAEA-SM-250/33.
- 3.- Alabastro E.F. et al. 1978. "Irradiation of fresh cavendish bananas (*Musa cavendishii*) and mangoes (*Mangifera indica* Linn. var. carabao). The microbiological aspecto". IAEA-SM-221/46.
- 4.- Amoako-Atta B. 1981. "Simulated radiation disinfestation of infested maize in Ghana". IAEA-SM-250/8.
- 5.- Amuh I.K.A. 1976. "Control of pest infestation of food by irradiation". IAEA-SM-221/72.
- 6.- Aravindakshan M. et al. 1978. "Multigeneration Feeding Studies with an Irradiated Whole Diet". IAEA-SM-221/69.
- 7.- Atomic Energy of Canada Limited Industrial Products. 1980. "Gamma Irradiation on the Service of Mankind".
- 8.- Auda H., Nasser L.K. 1981. "Chemical Studies on the influence of a combined process of heat and irradiation on carbohydrates, proteins and aminoacids of dates". IAEA-SM-250/12.
- 9.- Bandyopadhyay C. et al. 1978. "Studies on some chemical aspects of gamma-irradiated onions". IAEA-SM-166/59.
- 10.- Baraldi D. 1978. "Technological Tests at the preindustrial level on irradiated potatoes". IAEA-SM-221/81..
- 11.- Basson R.A. et al. 1978. "An assesement of the toxicity of irradiated fruits using radiation chemical principles". IAEA-SM-221/50.
- 12.- Brodrick H.T., Thomas A.C. 1978. "Radiation preservation of subtropical fruits in South Africa". IAEA-SM-221/49.
- 13.- Brynjolfsson A. 1981. "Chemiclearance of Food Irradiation Process: Its scientific basis". IAEA-SM-250/27.
- 14.- Brynjolfsson a. 1978. "Energy and Food Irradiation". IAEA-SM-221/54.

- 15.- Brynjolfsson A. 1979. "Food Irradiation and Nutrition". Preservation of Food Division, Food Engineering Laboratory. U.S. Army Natick Research and Development.
- 16.- Brynjolfsson A. 1978. "The high dose and low dose food irradiation programmes in U.S.A.". IAEA-SM-221/53.
- 17.- Cabrera M.L. et al. 1978. "Preservación de jitomates por irradiación gamma". IAEA-SM-166/32.
- 18.- Cabrera M.L., Carrasco A.H. 1978. "Survey of Food Irradiation Studies in México". J. Agric. Food Chem. Vol. 26 NO. 1, Pag.3.
- 19.- Canadian International Grains Institute. 1977. "Grains and Oilseeds. Handling, Marketing, Processing". Published by Canadian International Grain Institute, Winnipeg, Manitoba.
- 20.- Chaubey R.C. et al. 1978. "Mutagenicity Evaluation of Irradiated Indian mackerel in swiss mice: Dominant Lethal Assay and - Micronucleus Test". IAEA-SM-221/68.
- 21.- Choppin G.R., Rydberg J. 1980. "Nuclear Chemistry Theory and Applications". Pergamons Press, Oxford.
- 22.- Codex Alimentarius Commission. 1979. "Report of the 13th session, Rome 3-14 Dec. 1979.
- 23.- Conference Reports. 1980. "Food Irradiation nears Commercial Development". International Symposium on Combination Process Food Irradiation IAEA/FAO. IAEA Bulletin Vol. 23 No. 1.
- 24.- Cornelis J.C. 1978. "Legal, administrative and psychological barriers to the Industrial Application of Food Irradiation and the trade in Irradiated Food". IAEA-sm-221/6.
- 25.- De A.K. et al. 1978. "In vitro and in vivo studies on the toxicity of irradiated sucrose solutions". IAEA-SM-166/14.
- 26.- Desrosier N.W. 1977. "Elements of Food Technology". AVI Publishing Company, Westport, Connecticut.
- 27.- Diehl J.F. 1981. "Effects of Combination Processes on the nutritive value of food". IAEA-SM-250/28.
- 28.- Dollar A.M., Hanaoka M. 1978. "Commercial disinfestation treatment of fruit by ionizing radiation". IAEA-SM-166/53.
- 29.- Eisenberg E., Lapidot M. 1978. "Treatment of animal feeds with ionizing radiation. V. Petition and Clearance for radicedized, poultry feed". IAEA-SM-221/34.
- 30.- Elias P.S., Cohen A.J. 1977. "Radiation Chemistry of major food components". Elsevier Scientific Publishing Company.

- 31.- Farkas J., Andrassy E. 1981. "Combined effect of reduced water activity, heat and irradiation on microbial stability of canned goose-liver". IAEA-SM-250/10.
- 32.- Farkas J. 1978. "Control of microbial spoilage of food by irradiation". IAEA-SM-221/73.
- 33.- Feistritzer W.P. 1977. "Tecnología de la semilla de cereales". FAO, impreso en Italia.
- 34.- Fennema O.R. 1976. "Food Chemistry". Marcel Dekker Inc., New York And Bassel.
- 35.- Food Irradiation newsletter, 1985. "Updated list of Clearances for Irradiated Foods in member State". Joint FAO/IAEA Division of Isotope and Radiation Applications of Atomic Energy for Food and Agricultural Development. IAEA, Vienna, August 1985.
- 36.- Fraser F.H. 1980. "Gamma Radiation Processing Equipment and Associated energy requirements inf Food Irradiatio". IAEA-SM-250/4.
- 37.- Fraser F.M. 1981. "Historial Overview and Potential of Food Irradiation", Atomic Energy of Canada Limited Commercial Products. International Symposium on combination process in Food Irradiation.
- 38.- Fraser F.M. 1979. "Radiation Processing - Past, Present and Future". Presented to Conferente on Radiation Processing. Atomic Energy of Canada Limited Commercial Products.
- 39.- Frazier W.C. 1976. "Microbiología de los alimentos". Editorial Acribia, España.
- 40.- Furia T.E. 1981. "CRC Handbook of Food Additives". 2nd edition, vol. I, II. CRC Press Inc. Boca Raton, Florida.
- 41.- Gabor D., Columbo A. et al. 1981. "Beyond the Age of Waste". 2nd edition. Pergamon Press, Oxfon.
- 42.- Grunewald T. 1978. "Studies of sprout inhibition of onions by irradiation in the Federal Republic of Germany". IAEA-SM-221/17.
- 44.- Haschek W.M., Lenhart K., Pond W.G. 1978. "Pathogenesis of Vitamin D toxicity". IAEA-SM-221/18/
- 45.- Hanhn O. 1936. "Applied Radiochemistry". Cornell University Press.
- 46.- Hickman J.R. 1978. "The problem of Wholesomeness of irradiated

Food". IAEA-SM-166/69.

- 47.- Hoedaya M.S. et al. 1978. "Radiation effects on four species of insects in stored rice and the use of radiation disinfestation in their control". IAEA-SM-166/16.
- 48.- IAEA. 1977 "Nuclear Science and Technology in Food and Agriculture". Vienna.
- 49.- Ichikawa S. 1975. "Apuntes de Mutagenesis". Chapingo, Escuela Nacional de Agricultura.
- 50.- Inouwaert F. et al. 1978. "Influence of gamma irradiation on the provitamin A (-carotene) in solution". IAEA-SM-166/2.
- 51.- Joint FAO/IAEA Division of Isotope and Radiation applications of Atomic Energy for Food and Agriculture Development. 1983. "Revised Standard and Code of Practice for Irradiated Foods Adopted by the Codex Alimentarius Commission". Food Irradiation Newsletter Vol. 7, No. 2.
- 52.- Kalman B. et al. 1978. "Pilot scale studies on the irradiation of onions in Hungary". IAEA-SM-221/23.
- 53.- Kampeimacher E.H. 1981. "Prospects of eliminating pathogens by the process of food irradiation". IAEA-SM-250/29.
- 54.- Kiss F., Farkas J. 1981. "Combined effect of gamma irradiation and heat treatment on microflora spices". IAEA-SM-250/37.
- 55.- Kiss F. et al. 1978. "The use of irradiated ingredients in food processing". IAEA-SM-221/24.
- 56.- Van Kooij J. K. et al 1978. "Application of the Ames mutagenicity test to food processed by Physical preservation methods". IAEA-SM-221/42.
- 57.- van Kooij J.K. 1979. "Food preservation by irradiation". IAEA Bulletin Vol. 23 No. 3.
- 58.- van Kooij J.K. 1980. "World-wide utilization of food irradiation". Head, Food Preservation Section, Joint FAO/IAEA Division of Isotope and Radiation Applications of Atomic Energy for Food and Agricultural Development. International Meat Research Congress, 26 th European Meeting of Meat Research Workers. 31 Aug. Through 5 Sept. 1980. Colorado Springs, Colorado U.S.A.
- 59.- Lapidot M., Padova R. 1978. "Treatment of animal feeds with ionizing radiation: VI. Technological and economic feasibility.

- of poultry feed radicitadion". IAEA-SM-221/35.
- 60.- Libby W.F., Black e.f. 1978. "Food Irradiation an unused wapon against humber". Bulletin of Atomic Scientists.
- 61.- Loaharanu S. 1978. "Feeding studies of irradiated foods with insects". IAEA-SM-221/67.
- 62.- Mahmoud A.A. et al. 1978. "A study of some chemical changes in onion bulbs and their inner buds as affected by gamma radiation and storage". IAEA-SM-221/22.
- 63.- Maxy r.b., Rowley D.B. 1978. "Radiation resistant vegetative bacteria in a proposed system of radappertization of meats". IAEA-SM-221/75.
- 64.- Merrit C. et al. 1978. "chemical analysis of radiolysis products relating to the wholesomeness of irradiated food". IAEA-SM-221/51.
- 65.- Mitchel H.S. et al. 1978 "Nutrición y Dieta". Editorial Interamericana, México.
- 66.- Morganstern K.H. 1978. "Economics of electron accelerators in the preservation of food by irradiation" IAEA-SM-221/60.
- 67.- Hair P.H. et al. 1978. "Studies of sprout inhibition of onions and potatoes and delayed ripening of bananas and mangoes by gamma irradiation". IAEA-SM-166/11.
- 68.- Navarrete T.M., Cabrera M.L. 1979. "Introducción al estudio de los radioisotopos". Colección CFE No. 10, México, D.F.
- 69.- OMS. 1981. "La comestibilidad de los alimentos irradiados". Informe de un Comité Mixto FAO/OIEA/OMS de Expertos. OMS Serie de Informes técnicos 659, OMS, Ginebra.
- 70.- Koworkerk T. 1981. "Salmonella control in poultry trough the use of gamma irradiation". IAEA-SM-250/3.
- 71.- Potter W. T. 1978. "International Co-operation in the field of food irradiation". IAEA-SM-166/63.
- 72.- Proceedings. 1978. "Cornell nutrition conference for feed manufacturers Oct. 31, Nov., 1 2, 1978. Sheraton Motor Inn, Syracuse N. Y.". A report of research of the Cornell University Agricultural Experimentation Departments of animal and poultry ascience.
- 73.- Report of the Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee 27 Oct-3, Nov., 1980. "Wholesomeness of irradiated food summary of the Report of a Joint FAO/IAEA/WHO". Food Irradiation Information. Aug. 1981, No. 11. Published by the International Project in the Field of Food Irradiation.

- 74.- Roushdy H.M. et al. 1978. "Lower radiation levels for better storage ability of potatoes and onions using certain chemical treatments". IAEA-SM-166/64.
- 75.- Salkova Z. 1980. "Testing of ionizing radiation applicability in storing vegetables and fruit". Bull. Vysk. Ustavu Potratin V. 19 (4) p. 39-43.
- 76.- Schubert J. 1978. "Toxicological studies on irradiated Food and Food Constituents". IAEA-SM-221/74.
- 77.- Sekhayat A. et al. 1978. "Preservation of Potatoes and Onions by Irradiation an Chemical Treatments". IAEA-SM-221/29.
- 78.- Singson C.C. et al. 1978. "Use of gamma irradiation for the extended commercial storage of Philippine onions and other agricultural produce". IAEA-SM-221/76.
- 79.- Snauwaert F. et al. 1978. "Radiation destruction of vitamin a in lipid solvents". IAEA-SM-221/2.
- 80.- Stoewsand. G.S. 1981. "Influence of endogenous compounds in foods on the toxicity of environmental contaminants". IAEA-SM-250/5.
- 81.- Sudarson P. 1983. "Tecno-economic and Commercial Feasibility of Food Irradiation with special Reference to Developing Countries". Food Irradiation Newsletter, Vol. 7, No. 2.
- 82.- Szczawinska M. 1981. "Effect of the irradiation of bacteria upon their survival rate during conventional methods of meat preservatio". IAEA-SM-250/16.
- 83.- Taub I.A. et al. 1980. "Radiation Chemistry of high protein foods irradiated at low temperature". Food Irradiation Newsletter, Vol. 3 No. 5.
- 84.- Teufel P. 1981. "Microbiological Implications of the Food Irradiation Process". Food Irradiation Information, Aug. 1981-No. 11. Publishec by the International Project in the Field of Food Irradiation.
- 85.- Thomas P. et al. 1978. "Feasibility of Radiation Processing for post-harvest storage of potatoes under tropical conditions". - - IAEA-SM-221/25.
- 86.- U.S. Department of Commerce for the U.S. Army Hatick Laboratories. 1979. "Cost benefit analysis for Radappertized Foods" U.S. Department of Commerce.

- 87.- Urbain W.M. 1978. "The low-dose radiation preservation of retail cuts of meat". IAEA-SM-166/50.
- 88.- Vakil. U.K. et al. 1978. "Nutritional and Wholesomeness studies with irradiated foods: India's Program". IAEA-SM-166/12.
- 89.- Vas K. 1981. "Advances in Food Irradiation Dosimetry and Processing Conditions". Food Irradiation Information. Aug. 1981 - No. 11. Published by the International Project in the Field of Food Irradiation.
- 90.- Vas K. 1981. "Technological Feasibility of combination Treatments". IAEA-SM-250/39.
- 91.- Vas K. 1978. "The Development of International Standards for Irradiated Foods". IAEA Bull. 20, 5.
- 92.- Wierbicki E. 1981. "Technological Feasibility of Preserving Meat, Poultry and Fish products by using a combination of conventional additives, mild heat treatment and irradiation". IAEA-SM-250/24.
- 93.- Wills P. A. 1981. Commercial application of freezing-irradiation combination process for pasteurization of two specific batches of cooked, peeled shrimps". IAEA-SM-250/1.
- 94.- Zaytsev A.N. et al. 1975. "Wholesomeness studies on Irradiated Foods - Past and Futures Research within the Soviet Union". Food Irradiation Information No. 1975 - Published by the International Project in the Field of Food Irradiation.